Dippel, Leopold, 1827-1914 / Dippel, Leopold, / Masius, Hermann,

Die gesammten Naturwissenschaften für das Verständniß weiterer Kreise und auf wissenschaftlicher Grundlage bearbeitet ; in drei Bänden

Bd.: 1

Essen 1860

Die gesammten Naturwissenschaften

Zweite Auflage.

I. Band.

Die gesammten Naturwissenschaften.

2. verb. und bereicherte Aufl.

In 3 Bänden.

1. Bd.

Essen

1859

Dem

„Grossmeister der Naturwissenschaften“,

Herrn Freiherrn

Alexander von Humboldt

im Namen der Herren Mitarbeiter

und

in tiefster Verehrung

gewidmet

von der Verlagshandlung.

Als diese Worte der Widmung zum ersten Male an die Spitze des vorliegenden Werkes gestellt wurden, zählte der Name, dem sie galten, noch zu den Lebenden. Zwar lagen bereits mehr als acht Jahrzehnte der Mühen und des Ruhmes hinter dem Nestor der europäischen Wissenschaft. Aber in unalternder Jugend fortwirkend und schaffend,

das Große und das scheinbar Kleine, das Nächste und das Fernste mit immer gleichem Sinn umfassend, schien er hoch über dem Schicksal der Sterblichen hinzuwandeln, als sei er nicht ihres Geschlechts. Und in der That, man möchte sagen: er war es nicht. Denn Genien, wie Alexander von Humboldt, die nicht mehr einem Lande, sondern der Welt gehören, und die mit der Größe des Geistes die der Seele zum Bilde schönster Menschlichkeit verbinden, erzeugen selbst die Jahrhunderte nur selten. Fürsten und Könige haben um seine Freundschaft geworben, Städte und Inseln sich nach ihm genannt, ja, auf das Eis der Polargletscher und in die Fluten des Oceans hat die Wissenschaft seinen Namen geschrieben, und als im Frühling dieses Jahres Er selber nun zur Ruhe bestattet ward, haben Männer aus Afrika und Asien, aus Amerika und allen Staaten Europa's wie im Siegeszuge seine Leiche geleitet. Wo hätte die Geschichte etwas Aehnliches aufzuweisen? Man muß über nicht weniger als zwei Jahrtausende hinweg, man muß bis auf Aristoteles zurückgehen, um wieder einem Weltweisen zu begegnen, an welchem die Größe des Deutschen gemessen werden darf. Denn hier fand sich zum wunderbaren Bunde gepaart, was sonst nur vereinzelt die Natur ihren Lieblingen gewährt. Mit durchdringender Schärfe und philosophischem Tiefsinn vereinigte A. v. Humboldt eine geniale, wahrhaft dichterische Intuition; gleich glücklich als Forscher und Entdecker, war er zugleich ein Darsteller von unübertroffener Meisterschaft; und in den Zungen fast aller gebildeten Völker redend und keinem Wissen fremd, entfaltete er jene erhabene Universalität, auf deren Grunde allein die „Wissenschaft vom Kosmos" möglich wurde. Erwägt man weiter seine persönliche Einwirkung, die selbstverleugnende Förderung, welche er unzähligen Unternehmungen und Talenten angedeihen ließ, die Großheit seiner Denkungsart, dabei die unerschöpfliche Milde seines Herzens: so muß man staunend bekennen, daß ein solches Leben allerdings ein einziges und unersetzliches gewesen.

Es in seiner ganzen Bedeutung zu würdigen, wird erst möglich sein, wenn in allen einzelnen Fächern der Wissenschaft die Summe gezogen worden, und wenn alle Die werden gesprochen haben, welchen obliegt Zeugniß zu geben. Dennoch haben wir unsererseits nicht zaudern dürfen, sei's auch mit zager Hand, ein Bild des großen Todten zu versuchen. Denn wenn irgendwo, so schien es hier an seiner Stelle zu sein: in einem Werke, welches das Gesammtgebiet der Naturwissenschaften zur Darstellung bringen will, und das der Großmeister dieser Wissenschaften selbst nicht bloß durch Annahme der Widmung, sondern auch durch sein Urtheil in Wort und Schrift ehrenvoll ausgezeichnet hat. Inzwischen müssen wir uns selbstverstanden darauf beschränken im summarischen Ueberblick die Wendepunkte seines äußeren Lebens und die Dimensionen seiner Wirksamkeit anzudeuten. Erinnern wir uns dabei zuvörderst des Zustandes, in welchem die Naturwissenschaften gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts sich befanden. Im Grunde konnte damals nur die Astronomie für eine ausgebaute Disciplin gelten; ihr zunächst entwickelte sich die Physik. Alle übrigen Zweige beruhten mehr oder weniger auf bloßer Empirie; oft reichte der Fleiß des Sammlers aus, einen Namen zu machen, der freilich keine andere als eine zünftige Bedeutung hatte. Aber schon begann eine Gährung. Große Gedanken, geistvolle Hypothesen wurden zündend in das Chaos geworfen. Linné und Werner vor Allen hatten zuerst eine eigentlich wissenschaftliche Charakteristik und eine strenge Systematik eingeführt, jener in die organischen, dieser in die anorganischen Gebiete der Naturbeschreibung, und von Priestley's und Scheele's epochemachenden Entdeckungen geleitet, ward Lavoisier der wahre Gründer der Chemie. Ueberall bereitete sich eine neue folgenreiche Phase der Entwickelung vor.

In diese Zeit fiel Humboldt's Jugend. Zwei Jahre jünger als sein hochberühmter Bruder Wilhelm von Humboldt, wurde er am 14. September 1769 auf dem Schlosse Tegel bei Berlin geboren. Eine treffliche Mutter überwachte die Erziehung der beiden Knaben, welche anfangs in Tegel, später in Berlin von Männern wie Campe, Engel,

heim, Dohm, Willdenow u. s. w. unterrichtet wurden. Als das Werk der Bildung seinen ersten Abschluß erhalten, begaben sich die Brüder nach Frankfurt, Wilhelm um sich den Sprachwissenschaften zu widmen, Alexander getheilt zwischen philologischen, naturhistorischen und kameralistischen Studien. Indessen war der Aufenthalt in Frankfurt nur ein vorübergehender. Erst die klangvollen Namen der Göttinger Universität fesselten das Brüderpaar für längere Zeit und übten besonders auf Alexander jene tiefeinwirkenden Anregungen, deren er noch im Greisenalter mit Dankbarkeit gedachte. Hier lehrte Heyne, der Schöpfer der deutschen Philologie, Lichtenberg, der Physiker und Humorist, Blumenbach der Zoolog, Murray der Botaniker. Aber noch bedeutungsvoller ward für den Jüngling die Freundschaft mit Georg Forster. Dieser berühmte Weltumsegler war gewissermaßen ein Vorgänger Humboldt's: ein Gelehrter, der über die Grenzen seiner Wissenschaft hinaus den Blick auf die großen Entwickelungen der Menschheit richtete, ein begeisterter, genialischer Beobachter, der seine Erfahrungen und Anschauungen in den lebendigsten, blendendsten Bildern spiegelte. Kein Wunder, daß Forster seine wissenschaftliche Wanderlust auch auf Humboldt übertrug. Die nächste Folge war eine im Frühjahr 1790 gemeinsam unternommene Reise durch Holland und England, deren Ergebnisse der jüngere Genosse in einer Monographie über die niederrheinischen Basalte zusammenfaßte. Schon diese Erstlingsschrift bekundete in ihrem großen Stil den zur Höhe dringenden Geist und ein seltenes, Alles gleichsam organisch gestaltendes Wissen. Zugleich mochte sie Humboldt Anlaß geben, die geologischen Studien da weiter fortzusetzen, wo zur Zeit die einzige wirkliche Hochschule jener jungen Wissenschaft war: in Freiberg. Es genügt, die Namen Werner's und seines größten Schülers Leopold's v. Buch zu nennen, um anzudeuten, welche neue und dauernde Förderung Humboldt hier empfangen.

Aber weit entfernt, sich in dem Labyrinth der Geologie zu verlieren, war er auch hier in der universalen Weise thätig, welche vorher als Charakterzug seines Genius bezeichnet ward. Beobachtungen über den Magnetismus der Erde, chemische Untersuchungen über die Gase und die atmosphärische Luft, botanische über geschlechtlose Pflanzen u. s. w. liefern ihm Stoff zu Aufsätzen und Schriften, und als 1792 Galvani's Entdeckung ihm kund wird, sehen wir ihn mit gleich bewundernswürdigem Eifer den neuen Weg beschreiten. An seinem eigenen Körper macht er die schmerzhaftesten Versuche; selbst zu Pferde begleitet ihn der galvanische Apparat. Endlich, nachdem er gleichsam streifend an der Erfindung der elektrischen Säule vorübergegangen, darf der Dreiundzwanzigjährige es wagen, mitten in den Streit hineinzutreten, der zwischen Galvani und seinem großen Gegner begonnen und bald die ganze Welt in Bewegung gesetzt hatte. Er veröffentlicht sein Werk „über die gereizte Muskel- und Nervenfaser", und damit ist das entscheidende Wort gesprochen. Humboldt, der hier zuerst auf das Bestimmteste die thierische Elektrizität von der Metallelektrizität geschieden, gehört von Stund an zu den ersten Größen der physischen Wissenschaft.

Mittlerweile hatte Preußen nicht verabsäumt einer so ausgezeichneten Kraft im Staate den würdigen Wirkungskreis zu öffnen. Noch im Jahre 1792 ward Humboldt nach Berlin berufen, um kurz darauf in den „fränkischen Fürstenthümern" die Leitung des uralten, aber tief vernachlässigten Bergbaues zu übernehmen. Eine Reihe rühmlicher Erfolge bezeichnet seine fünfjährige Thätigkeit in diesem Dienst. — Aber die Enge eines Amtes, wenn auch des ehrenvollsten, ertrug der strebende Geist nicht länger. In die Weltfernen hinaus, nach den Ländern jenseit der Meere zog ihn eine unüberwindliche Sehnsucht, und die Reisen, welche er neuerdings mit Buch, Freiesleben u. A. gemacht, konnten sie nur mächtiger entzünden. So gab Humboldt, durch den Tod der Mutter zum Besitz genügender Mittel gelangt, 1797 den Staatsdienst auf. Zunächst jedoch wandte er sich nach Jena zu seinem Bruder Wilhelm, und hier traten ihm unsere

beiden großen Dichter nahe, gleich als wolle der Genius der deutschen Muse sich dem Weltwanderer vor dessen Scheiden noch einmal in der herrlichsten Offenbarung verkünden. Nach mehreren Monaten des idealsten Verkehrs begab sich Humboldt nach Paris. Von dort aus gedachte er sich einer Expedition nach Oberägypten anzuschließen. Aber der Plan scheiterte, und wie dieser scheiterten auch alle anderen Reiseentwürfe. Der Unstern, welcher seine Beharrlichkeit auf so schwere Proben setzte, wandte sich erst im Jahre 1799. Da, in der Blüte des angehenden Mannesalters, im Bunde mit einem für das ganze Leben erworbenen Freunde, rüstete sich Humboldt Europa zu verlassen, um das spanische Amerika zu durchforschen. Ein Sturm trug das Schiff der Reisenden aus dem Hafen von Corunna mitten durch feindliche Segel; am 5. Juni erreichten sie die hohe See, die Küsten traten allmählich zurück, bald verhüllte der Abend sie völlig. Nur ein blitzender Punkt, das Licht einer Fischerhütte von Sisarga, zuckte noch einige Augenblicke über dem Flutendunkel auf — dann war auch dieses letzte Fanal der heimatlichen Erde hinter dem Gesichtskreis versunken!

In wenigen Tagen hatten sie Teneriffa erreicht, und schon hier boten sich neue überraschende Anschauungen. Aber welch eine Fülle von Aufschlüssen, Bildern und großen Gedanken öffnete sich erst, als Humboldt im Juli bei Cumana den Boden der neuen Welt betrat! Es würde weit über die Grenzen einer Skizze hinausführen, wollte man versuchen, auch nur im Umriß Gang und Gewinn seiner Forschungen zu zeichnen. Bald die grasreichen Llanos durchwandernd, bald im gebrechlichen Kano den Katarakt hinabschwimmend, hier durch die Nacht des Urwaldes, dort empor zu den Schneehäuptern der Cordilleren dringend, hat er für Alles Auge und Herz, bleibt nichts ihm fremd oder bedeutungslos. Er ist überall der Erdbeschauer im großen Maßstabe. Er beobachtet über der Savanne den stillen Zug der Gestirne und am Krater gelagert den Aufruhr unterirdischer Gewalten; er verfolgt das leise Schaffen der Pflanzen, das regsame Leben der Thiere, die Bewegungen und Mischungen der Luft; er geht den Schwankungen der Magnetnadel nach, sucht in der wilden Architectur der Gebirge das leitende Gesetz, erweist die oft bestrittene Verbindung des Orinoko und des Marannon; er verweilt bei den einsamen Malen einer untergegangenen Kultur und lauscht sinnend den Sagen des rothen Mannes: um es kurz, mit einem Dichterworte seines Bruders zu sagen,

„er ringt der Welt tiefspähend ab die Welt".

Und so kehrte er nach fünfjähriger Abwesenheit, ein zweiter Kolumbus, nach Europa zurück. Die Ausbeute war unermeßlich, obgleich fast ein Drittheil der Sammlungen und Manuskripte in den Wellen untergegangen war. Aber hatte es des aufopferndsten Muthes, der unermüdlichsten Geduld und nie rastenden Fleißes bedurft, um diese Schätze zu erwerben, so blieb nun die kaum minder schwierige Aufgabe: dieselben zu einem Gemeingut der Wissenschaft zu machen. Humboldt siedelte zu dem Ende nach Paris über. Hier, in der großen Metropole der Naturforschung, umgeben und unterstützt von den ausgezeichnetsten Gelehrten, durfte er am ehesten und würdigsten diese Arbeit zu vollenden hoffen. Es liegen Jahrzehnte zwischen dem Beginn und dem Abschluß des Gesammtwerkes: aber es ist dasselbe ohne Zweifel auch eines der großartigsten Erzeugnisse, welche der Buchdruck ans Licht gefördert. Allein die eigentliche Reisebeschreibung umfaßt 6 Theile, und zählt man Alles zusammen, was auf diese Reise sich gründet, so ergiebt sich eine Summe von 29 Bänden in Folio, von 12 Bänden in Quart, von 20 Bänden in Octav nebst 1425 Kupferplatten. Was darin für Geschichte und Geographie niedergelegt, welche unabsehbare Erweiterung die eigentlichen Naturwissenschaften dadurch erfahren, wie das Alte neue tiefere Deutung, das bisher Vereinzelte Halt und Zusammenhang gewann: müssen wir verzichten anzudeuten. Nur das bleibe nicht unerwähnt, daß wie früher schon durch Humboldt die Physiologie der Nerven so jetzt eine Geographie und Physiognomik der Pflanzen, eine Meteorologie und Klimatologie von ihm geradezu neu geschaffen wurden.

Es darf nicht befremden, daß Humboldt dieses Werk in der Sprache desjenigen Landes schrieb, in dem er seine zweite Heimat gefunden, und mit dessen hervorragendsten Männern er in unzertrennlicher Gemeinschaft stand. Nur die 1808 veröffentlichten „Ansichten der Natur" machen eine Ausnahme. Aber gerade sie haben Humboldt's Ruhm als deutscher Klassiker begründet, wie er durch seine anderen Werke sich den Musterschriftstellern der französischen Nation angereihet hat. Wirklich leuchtet aus den „Naturansichten" eine noch immer unerreichte Kunst der Schilderung; die Auffassung ist großartig genial, die Sprache, die zwischen der Pracht Schiller's und Göthe's schmeichelnder Klarheit mitten inne steht, erscheint bis ins Einzelnste gewogen, und bezeichnet mit glücklichem Wagniß und wunderbar anschaulich Stimmungen und Anschauungen, welche bis dahin dem Bereiche unseres Ausdruckes völlig fern lagen.

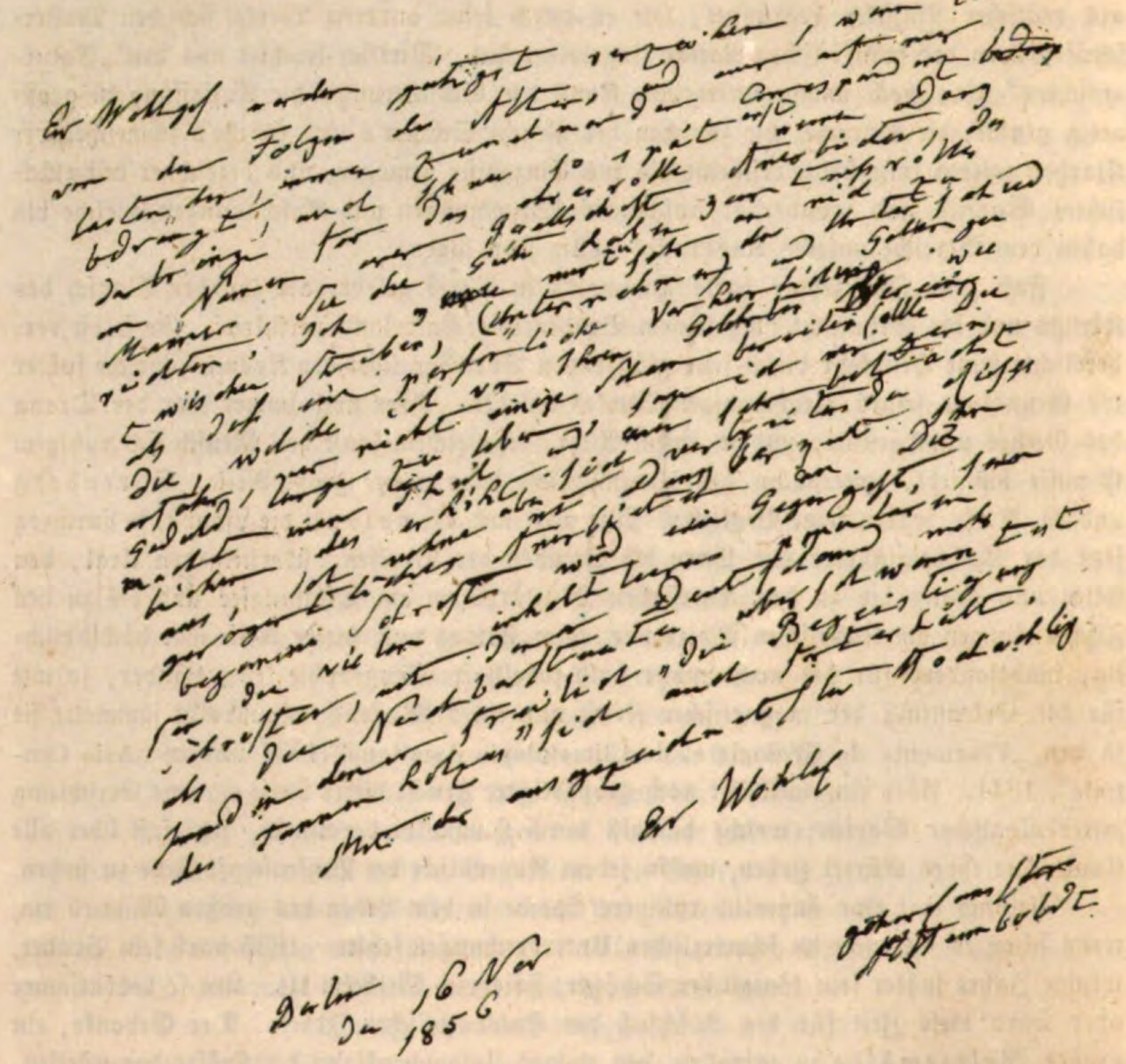
Fast zwei Jahrzehnte hatte Humboldt in Paris gelebt, als ihn der Wunsch des Königs und die Sehnsucht nach seinem Bruder in's Vaterland zurückrief. Er selbst verherrlichte seine Heimkehr durch jene glänzenden Vorträge über den Kosmos, welche später die Grundlage seines gleichnamigen Werkes wurden. Aber noch immer war der Drang des Geistes nicht gestillt, und in einem Alter, in welchem sonst der Mensch sich ruhigem Genusse hingiebt, unternahm der Unermüdliche seine zweite große Reise. Ehrenberg und G. Rose waren seine Begleiter. Wie einst mit Bonpland die Llanos, so durchzog jetzt der Sechszigjährige mit ihnen die Steppen der Kirgisen, überstieg den Ural, den Altai und drang bis zu den chinesischen Militärposten am Dsaisangsee und bis zu den Fischerstämmen am Kaspischen Meere vor. Der Ertrag auch dieser Reise war höchst wichtig, insbesondere für die noch immer halb fabelhafte Geographie jener Länder, so wie für die Erkenntniß der magnetischen Kraft und ihres Wirkens. Humboldt sammelte sie in den „Fragments de Géologie et de Climatologie Asiatique" 1831 und in „Asie Centrale", 1841. Aber eine vielleicht noch großartigere Frucht dieser Reise war die Errichtung meteorologischer Warten, welche damals durch Humboldt veranlaßt, jetzt fast über alle Continente ihren Gürtel ziehen, um in jedem Augenblicke der Wissenschaft Rede zu stehen.

Endlich trat eine äußerlich ruhigere Epoche in dem Leben des großen Mannes ein, wenn schon es ihr nicht an schmerzlichen Unterbrechungen fehlte. 1835 starb sein Bruder, wenige Jahre später sein königlicher Schützer, Friedrich Wilhelm III. Um so bedeutsamer aber ward diese Zeit für den Abschluß der Humboldt'schen Ideen. Der Gedanke, ein großes Weltgemälde zu entrollen, den ewigen Zusammenklang der Kräfte darzustellen, welche unter der Decke der Erscheinungen sich verhüllen, endlich die Spiegelung dieser sichtbaren Welt in der Welt des Menschengeistes zu verfolgen — dieser gewaltige Gedanke war gewissermaßen das Ziel, auf welches alle Bestrebungen und Werke Humboldt's vorbereitend hinwiesen. Jetzt, im Jahre 1845, begann er ihn auszuführen, und diesem letzten größten Werke hat er noch sterbend seine Kraft gewidmet. Auf die kühnste Weise angelegt, gleichsam aus den Bausteinen aller Wissenschaften aufgeführt, steht der „Kosmos" in olympischer Erhabenheit da, unvollendet und doch das Vollendetste, was der forschende und ahnende Geist auf diesem Gebiete geschaffen hat.

Am 6. Mai 1859 starb A. v. Humboldt. Auf die Kunde von seinem Tode beschloß Frankreich seinem größten Ehrenbürger ein Standbild zu errichten, und in wenigen Jahren wird sein Monument auch die Hauptstadt Preußens schmücken. Die Nationen leisten damit den Zoll der Dankbarkeit. Aber wenn man erwägt, daß dieser Genius aus einem Jünger der Naturwissenschaften sich zu ihrem Lenker und Meister erhoben, daß er sie zu neuen Zielen emporgetragen und ihr neue ungeahnte Reiche erobert hat, und daß fast kein Punkt unseres Planeten ist, der nicht an Ihn erinnern könnte, so darf man sagen: Er bedarf keines Denkmals;

die Erde ist sein Denkmal!

Schreiben Sr. Excellenz des Freiherrn Alex. v. Humboldt
an den Verleger bei Annahme der Dedication.



Ew. Wohlgeboren werden gütigst verzeihen, wenn ich, von den Folgen des Alters und einer auf mir lastenden immer zunehmenden Correspondenz bedrängt, auch Ihnen so spät erst meinen Dank darbringe für das ehrenvolle Anerbieten, das im Namen einer Gesellschaft kenntnißvoller Männer Sie die Güte haben an mich zu richten. Ich kenne nur zu sehr den Unterschied zwischen Streben (Unternehmen) und Gelingen, als daß eine persönliche Verherrlichung, wie die, welche ich von Ihrem gelehrten Vereine erfahre, mir nicht einige Scham bereiten sollte. Die Geduld, lange zu leben, sage ich mir gern, macht einen Theil und einen sehr beträchtlichen des erhöht sich verbreitenden Rufes aus. Ich nehme aber mit Dankbarkeit Ihr gewogentliches Anerbieten an.

Die begonnene Schrift wird ein Gegengift sein für die vielen inhaltleeren populären Schriften, mit denen Deutschland mehr als die Nachbarstaaten überschwemmt ist, in denen freilich „die Begeistigung des Tannenholzes" sich auch forterhält.

Mit der ausgezeichnetsten Hochachtung

Ew. Wohlgeboren

Berlin, 16. Nov. 1856.

gehorsamster

A. v. Humboldt.

Einleitung.

Die Welt ist wie ein Buch,
Das von der Hand, von der allmächtigen,
Allweisen ist geschrieben;
Ein jegliches Geschöpf
Ist wie ein Wort in diesem Buche,
Das Gottes Macht und Weisheit zeigen soll.
Da kommt denn, wie es zu geschehen pflegt,
Der Eine, sieht das Buch und blickt hinein,
Doch was die Worte, die darin geschrieben,
Bedeuten, weiß er nicht; ein Zweiter kommt
Und lobt den Zierrath dieses Buchs, den prächt'gen Band
Von Pergamen; ein Dritter preist
Die saubre schöngemalte Schrift:
Der geist'ge Mensch allein
Versteht den Sinn, der aus den Worten redet.

(Thomas von Stitny um 1350.)

In diesem Ausspruche eines böhmischen Dichters sind klar und treffend die verschiedenen Betrachtungsweisen bezeichnet, welche das Menschengeschlecht der Natur gegenüber eingenommen hat. Langsam und oft in irrem Hin- und Widergang sind dieselben auf einander gefolgt. Der Sohn der Wildniß, aus dumpfer Gleichgültigkeit erwacht, sah staunend in die Welt, die ihn umgab: er fühlte sich umweht von andern als irdischen Kräften, er ahnte das Walten göttlicher Gesetze; aber diese Ahnung schweifte in die seltsamsten Verirrungen aus. Dichtung und Mythus überwoben die Hieroglyphen des großen Naturtempels, und nur allmählich zerriß hier Zufall, dort suchender Trieb den Schleier, und einzelne Zeichen traten hervor. So gestalteten sich die ersten (dürftigen, doch immer) bedeutsamen Anfänge eines Verständnisses. Die Menschheit verdankt dieselben vornehmlich zwei Völkern, von denen das eine den scharfspürenden Blick für das Kleinleben, das andere die tiefsinnige Divination für die großen kosmischen Ordnungen voraus hatte: den Chinesen und den Aegyptern. Ihre Priester zumal haben die Natur in den Kreis der Beobachtung gezogen, und noch heute überrascht die genaue Kenntniß, welche sie von einzelnen Kräften und Erscheinungen gewonnen.

Den Orientalen folgten Griechen und Römer. Ein idealer Zug führte jene auf die höchsten Fragen des Geistes, die sie in oft erhabenen Philosophemen zu lösen strebten; der Natur aber schenkte ihr stets aufwärts blickendes Auge nur soweit Beachtung, als sie Schauplatz des Menschen und seiner Thaten war. Doch mag Xenophanes in einem gewissen Sinne schon für einen Geologen gelten, während der Ruhm, die eigentliche Naturgeschichte begründet zu haben, dem Aristoteles nicht streitig gemacht werden kann. Die Römer sind auch auf diesem Felde nur die Aehrenleser ihrer Vorgänger gewesen. Ihr Geschäft war der Krieg; spärlich gedieh im Schatten der Schwerter jener Natursinn, der dann zuerst bei den Arabern des angehenden Mittelalters und, von diesen nach Europa verpflanzt, auch unter den Völkern romanischer und deutscher Zunge sein stilles Werk förderte.

Noch freilich gab es außer der Theologie überhaupt kaum eine selbständige Wissenschaft, geschweige eine Naturwissenschaft. Irrthum und Trug floß mit Wahrem zu einem abenteuerlichen Gemisch zusammen, und dieses zweifelhafte Wissen barg sich in den Zellen der Klöster oder hinter den Mauern gewerbreicher Städte. Aber seit Kolumbus die neue Welt erschloß, seit Guttenberg das geflügelte Wort in eherne Zeichen fesselte, seit der Stiftung der Universitäten und der Wiedererweckung der klassischen Studien, befreite sich auch die Naturwissenschaft aus den Banden des Aberglaubens und des Geheimnisses.

Raschen Schrittes folgten sich die großen Entdecker und Eroberer auf diesem Gebiete, von Kopernikus und Galilei bis auf Arago und Berzelius, Humboldt und Faraday herab. Die gebildeten Völker Europa's haben einen edlen Wettkampf des Geistes begonnen, Deutschland, England, Frankreich sind vor allen anderen Pfleger und Mehrer der neuen Wissenschaft geworden, und die ganze Welt nimmt Theil an ihrem Erwerb. Denn auch das bezeichnet die Blüte dieser Wissenschaft, daß sie die Sprache des Volkes ehrend, in dieser selbst redet und aus Hörsälen und Schulen heraustritt auf den freien Markt, das Leben mit dem Wissen zu vermählen.

In diesem Sinne ist auch das vorliegende Werk geschrieben worden. Es soll ein populärer Versuch sein, den Laien auf anziehendem Wege einzuführen in das **Gesammtgebiet der Naturwissenschaft.** Einen Ueberblick über die einzelnen Zweige derselben, eine nähere Bekanntschaft mit den wichtigsten Erscheinungen, Kräften und Gestalten des physischen Lebens, ein Verständniß für die großen praktischen Resultate der Forschung: das war der Zweck, welchen die Verfasser erstrebten. Es ist hier nicht der Ort, von den Schwierigkeiten einer solchen Aufgabe zu reden. Der Erfolg wird lehren, ob sie überwunden worden, insbesondere ob es gelang, in der Auswahl des Stoffes wie in der Form der Behandlung jene Linie zu treffen, welche dort zwischen einem Zuviel

und einem Zuwenig, hier zwischen der schweren Rüstung der Demonstration und dem leichten Soccus der Unterhaltung die glückliche Mitte hält. Dagegen scheint es nöthig, in einigen Strichen die Grenzen des bearbeiteten Gebietes und zugleich die Stellung der einzelnen Naturwissenschaften anzudeuten. Geschieht Letzteres hier in einer zwanglosen und gleichsam genetischen Anordnung, so empfahl sich allerdings für die Bearbeitung selbst eine andere, auf didaktische Bedingungen begründete Reihenfolge.

Sofern die Naturwissenschaft die Erde und die Gestaltungen des auf, in und über ihr wirkenden Lebens zum Gegenstande nimmt, mußte vor Allem die Frage nach Ursprung und Bildung des Erdganzen sich aufdrängen. Schon griechische Denker stellten, angeregt durch den Fund merkwürdiger Versteinerungen, erklärende Hypothesen auf, und jener Xenophanes aus Kolophon ist vielleicht der erste Neptunist gewesen. Er meinte, der Ocean kämpfe beständig wider das Festland, und ergieße sich in gewissen Weltzeiten derartig über dasselbe, daß es in einen plastischen Thon, in einen Lehm aufgelöst werde, der erhärtend wieder zu neuen Formen sich entwickele. Aber Betrachtungen dieser Art tauchten bei den Alten nur vereinzelt auf. Es ist deutsches Verdienst, diese Fragen weiter verfolgt, strenger verkettet und zu einem wissenschaftlichen System abgeschlossen zu haben. Die **Geologie** und **Geognosie** unternahmen es zu zeigen, wie unter den feurigen Umarmungen der Elemente Urgebirge emporstiegen, wie das überflutende Meer in engere Grenzen zurückwich und weichend junge Bildungen aufdeckte, wie immer neue Erdschichten ~~sich über die alten hinwegstreckten~~, immer neue Pflanzen- und Thierschöpfungen erstanden und ~~vergingen~~, und wie endlich nach einer langen Reihe von ~~Katastrophen~~ der Planet zu seiner jetzigen Gestalt gelangte. Allerdings ist hier dem deutenden Scharfsinn ein weites Gebiet eröffnet, und die Wissenschaft, nicht außer Gefahr sich gleichsam horizontlos zu verlieren, tritt erst da mit vollüberzeugender Sicherheit auf, wo sie aus vorgeschichtlicher in geschichtliche Zeit, wo sie von dem Philosophem zur empirischen Induktion zurückkehrt und die fertigen Naturkörper ihrer Betrachtung unterzieht.

Und damit beginnt die eigentlich beschreibende Wissenschaft (Naturbeschreibung), die sich in ein dreifaches Bereich scheidet. Denn vom Unorganischen vorschreitend zum Organischen scheint die Natur zuerst lebloses, ungeschlechtiges Gestein gebildet zu haben, des großes Baues Grundlage, dann in breit wachsender Pflanzenwelt den einzelnen Arten unendliche Selbstzeugung zu verleihen, endlich aber den Thieren in äußerer Absonderung des Geschlechts Willkür der Bewegung und Handlung zu gewähren. Mit dem erstbezeichneten dieser Gebiete hat es die **Mineralogie** zu thun. Sie führt uns hinunter in die Tiefen, zeigt die hochgemauerten Wände der Felsen, schlägt die Erzader an und das

Salzflötz, zieht aus verborgenen Kammern das Geschmeide der Gnomen, oder sucht in der Welle des Stroms das blinkende Goldkorn. In wie herrlichem Farbenschmuck diese ältesten „Zeugungen der Erdveste" auch funkeln mögen, und so vollkommen auch ihre vieleckigen und mannigfach verzweigten Formen anschießen, sind sie doch ohne Leben. Aber allerdings scheint sich bereits in dem Krystall, dem Ideal aller mineralischen Bildungen, jene tiefwirkende räthselhafte Kraft zu regen, welche den todten Stoff zu bewältigen und lebenzündend gegen das starre Gesetz der Schwere emporzutreiben strebte. Wie die strengeren Krystallgestalten architektonische Typen nachahmen, so bilden eben so oft in scheinbar freierem Walten zierliche Gewächse von Stein und Metall die Welt der Pflanzen vor, mit der die **Botanik** sich beschäftigt.

Mit dem Mikroskop hat diese Wissenschaft das Wunder des Lebens belauscht und gezeigt, daß aus der organischen Zelle alles hervorgehe, was Pflanze oder Thier heißt. In den filzigen Schleimfäden der Sümpfe und in dem dürren Flechtenanflug der Felsen weist sie Keim und Spur von jenem Leben nach, das die Wiesen mit buntem Teppich schmückt und auf den Bergen den Dom der Wälder baut. Aber der Pflanzenorganismus ist noch gebunden an die Erde; aus den Gasen der Atmosphäre und den Säften der Scholle nehmen Baum und Blume ihre Nahrung, ohne Sinn und Empfinden, und ohne daß sie vermöchten den Bann zu brechen, der sie unbeweglich gefesselt hält. Das Leben der Pflanzen ist noch in Dämmerung verschleiert; doch ist allen Fülle der zeugenden Kräfte und vielen lange Dauer gegeben. Obgleich der einzelnen Pflanzenart bestimmte Luft- und Bodenverhältnisse zusagen, und von der üppigen Vegetation der Tropen bis zu den Polgürteln, wo nur die Zwergbirke im Winde wiegt und das Rennthier ein kümmerliches Moos aus dem Schnee hervorschaufelt, zonenweise Abgrenzung stattfindet, so überschreiten doch zahlreiche Gewächse ihr Bereich und versagen auch der Fremde nicht die nährende Frucht oder die erfreuende Blüte. Während gewisse Pflanzen immer da sich ansiedeln, wo der Mensch der Natur gewichen ist, fehlt es auch nicht an solchen, die sich an seine Sohle heften und überall die lebendige Tapfe seines Fußes bilden.

Auf dem grünenden Grunde hält das Thierleben seine Weide. Es beginnt unsichtbar schon im Wassertropfen und im Staube, und schreitet in unabsehbarer Stufung zu den vollendetsten Gestalten fort. Hier ist jener Schlaf abgeschüttelt, der auf der Pflanze lag: Empfindung und Bewegung kennzeichnen den zusammengesetzten Organismus. Die Thiere sind, mit Herder zu reden, losgeschlagene „Funken eines höheren Verstandes". Sie haben ihre Gesetze und ihre Anomalien, ihre Freuden und Leiden, ihre Liebe und ihren Haß; es leuchtet aus ihnen bald klarer, bald trüber ein Wiederschein des Menschlichen hervor, der in Sprichwort, Fabel und Dichtung den mannigfachsten Ausdruck gefunden

hat und schon lange vor Lavater physiognomische Studien, aber auch physiognomische Phantasmen hervorrief. Die **Zoologie** stellt die Urformen, die Grundtypen dar, nach welchen sich diese vielgestaltige Welt entwickelt; zugleich aber zeigt sie, wie mit dem physischen Leben das psychische Hand in Hand geht, und widmet denjenigen Thieren wohl eine besondere Aufmerksamkeit, mit denen der Mensch in einen direkteren Verkehr getreten, sei es, daß er sie gleichsam zu willigen Lebensträgern gemacht, oder daß er ihre feindselige List und Stärke zu bekämpfen habe. Wie es Charakterpflanzen einzelner Völker giebt, so giebt es auch Charakterthiere, ohne welche die Bevölkerung ganzer Erdtheile, ja das gesammte Menschengeschlecht kaum vermöchte zu bestehen.

Von der bloßen Beschreibung der Naturkörper ist die Wissenschaft dazu übergegangen, die Erscheinungen, welche in und an denselben wahrgenommen werden, und die Kräfte, welche diese Erscheinungen bedingen, zu ermitteln. Das Licht, das aus goldenen Brunnen des Himmels fließt und den Tag und seine farbige Welt entzündet, die Wärme, die mit dem freundlichen Strahle so gern sich gattet und allerorten Leben weckt, der Klang, den die zitternde Saite, das geschwungene Erz erweckt und der im vielzüngigen Spiel des Echo's sich gefällt, der Zug der Winde und der Wolken, der geheimnißvolle Strom magnetischer und elektrischer Kräfte — diesen und zahlreichen anderen Erscheinungen forscht die **Physik** nach.

Die Wissenschaft blieb dabei nicht stehen. Kühn gemacht durch ihre Siege, ist sie in die Werkstatt der schaffenden Kräfte selbst hinabgedrungen. Sie hat, indem sie der Natur die Waffen entlehnte, den rothen Faden, welcher die Atome der Körper verknüpft, zu lösen und die Elemente der Dinge auszuscheiden versucht, wie sie andererseits elementare Stoffe zu neuen Verbindungen zusammenruft. Nachdem Jahrhunderte lang der Adept in den Irrgängen der Magie dem großen Räthsel nachgegangen, ward aus dem Traume der Alchymie die Wissenschaft der **Chemie** geboren, die, im Besitze ihrer zwingenden Formeln, des Paktes mit der Unterwelt entrathen konnte. Ist es auch nicht geglückt Gold oder Diamanten zu präpariren, so haben Chemie und **Physiologie**, die Schwesterwissenschaften der Physik, die großen umwandelnden Prozesse, welche in der unorganischen wie in der organischen Natur walten, immer deutlicher erkannt. Denn der Haushalt der Schöpfung kennt nirgends Stillstand oder Tod. In dem Reiche des Unorganischen werden lebendige Kräfte entdeckt; die Elemente erscheinen beseelt mit eigenthümlichem Wirkungsvermögen; Licht, Wärme, Elektrizität geben sich als oberste Triebmittel organischen Schaffens kund, während in der Physiologie (der Wissenschaft von den eigentlichen Lebenserscheinungen) kaum ein Resultat oder Gesetz noch Geltung erlangt, wenn es nicht annäherungsweise in jener Bestimmtheit sich ausspricht, welche Maß

und Gewicht den Lehrsätzen der Chemie und Physik verleihen. Freilich haben auch diese Wissenschaften ihre letzten undurchdringlichen Schranken; aber durch alle Forschung geht die Ahnung eines gemeinsamen Bandes, welches das Kleinste dem Größten, das scheinbar Todte dem Lebendigen gesellt.

Es leuchtet ein, daß diese Fortschritte der Wissenschaft auch auf das Leben nicht ohne den weitgreifendsten Einfluß bleiben konnten. Die wunderbaren Erfindungen auf dem Gebiete der **chemischen** und **physikalischen Technologie** haben die Gegenwart auf Eine Linie gestellt mit jener großen Aera der Entdeckungen, welche den Ausgang des Mittelalters und den Eintritt der Neuzeit bezeichnete. Ein Netz von Telegraphen kreuzt sich über Europa und spannt bereits unter der Woge des Meeres den redenden Draht aus, und vielleicht ist die Zeit nicht allzufern, wo seine Feuerzunge von Erdtheil zu Erdtheil spricht. Der eingekerkerte Dampf des Wassers treibt die Wagenburg gleich einer rollenden Stadt auf der Schiene dahin, beflügelt das Seeschiff, daß es sturmestrotzig die Flut durchzieht, leiht dem Gewerbe Tausende von Lastträgern und Arbeitern, die, gehorsame Sklaven, auf Einen Wink die rasselnden Glieder regen und in ehernem Rhythmus auf- und niedersteigen. Unter ihrem zermalmenden Fußtritt ächzt der Metallblock, ihre vielgelenkige Hand zerreißt die Wolle, zwirnt den Faden, spinnt das Luftgewebe des Schleiers. Man erinnere sich ferner der Galvanoplastik, welche die Marmorbüste sich selbst in metallenem Nachbilde verdoppeln läßt, treuer als Menschenhand es vermöchte; der Daguerreotypie, welche den Lichtelf gleichsam in der Falle fängt, daß er mit zauberkräftigem Finger und in Augenblickesschnelle auf die Platte zeichnet, was man ihm vorhält; der Gasbereitung, die aus der schwarzen Steinkohle einen Lichtstrom zieht, der unsere Nächte taghell erleuchtet. Man erinnere sich der immer kunstreicheren und vollständigeren Gewinnung und Ausbeutung der Kohlen und Erze, der zahllosen Fabriken jeder Art; und es bedarf nach alle Dem gewiß keiner Rechtfertigung, wenn auch diesen technischen Errungenschaften in dem vorliegenden Werke eine Stelle gegeben worden ist. Nur, daß auch hier wie überall die Darstellung sich auf das Wichtigste beschränkt.

Ist auf diese Weise das Bereich der eigentlichen Erdwelt durchmessen, so bleibt als nächste Aufgabe eine Charakteristik des **Meeres**. Nicht als ob die gewaltige Wassermasse anderen Gesetzen folgte als etwa der Thautropfen am Grase, oder als ob die Kräfte, mit welchen die Natur arbeitet, hier anders wirkten als sonst. Was den Ocean als eine Welt für sich erscheinen läßt, das ist, neben seiner Ausdehnung, ganz besonders die Großartigkeit und Eigenthümlichkeit seiner Phänomene. Es wurde schon oben angedeutet, daß in Urzeiten aus seinem Schoße das Festland emporstieg; aber wie einst, gebiert sich dort noch immer ein unerschöpfliches Leben. Unsere Wälder bergen nach

Charles Darwin nicht so viele Thiere als die unterseeische Waldregion, wo Tanggesträuche ihr zartes Laub entfalten, und „selbst in Tiefen, welche die Höhe unseren mächtigsten Gebirgsketten übersteigen, regt sich allenthalben Empfindung". Bedarf es noch einer Erinnerung an die vielverschlungenen Strömungen, in welchen das Meer den Erdball umkreist, hier die Glut südlicher Zonen, dort die Kälte polarischer Breiten mildernd? an die Schrecken seiner Stürme, an den Zauber seines Leuchtens, an den majestätischen Pulsschlag seiner ebbenden, flutenden Wasser? Alte Dichter haben es das „heilige" genannt, und wo wäre ein erhabeneres Symbol jener Unendlichkeit, in welcher der sinnende Mensch von jeher seine Heimat erkannt hat? Zu dem Allen nehme man die Einwirkungen des Meeres auf die Entwickelung des Menschengeschlechts. Pfadlos wie die Wüste, und jedes Joches spottend, war es dennoch seit Anbeginn die Straße der Geschichte. Es trägt das rohe Kano des Wilden und das Schiff des Weißen, und indem es so Länder mit Ländern, Völker mit Völkern vereint, ist es in der That der lebendige Gürtel, der die Glieder der Erde zum Ganzen, zur Welt verknüpft: eine Schule der Freiheit und Bildung, ein Element der Menschheit.

Aber der Kreis der Naturwissenschaften vollendet sich erst, wenn der Blick über die Erde wegstrebend diese selbst in ihrem Zusammenhange und Zusammenklange mit dem Universum begreift. Die Erde, ein Stern unter Sternen, vom Arm des Ewigen hinausgerollt in den Weltraum und dort in leuchtenden Kreisen sich schwingend, um sie her der Himmel mit seinen Sonnen und Monden, mit seinen Kometen, Planeten und all den Myriaden Lichtsphären, die seit Anbeginn die ungestörte Bahn durchwandeln — auch dies unendliche Reich ist eine Provinz der Naturwissenschaft. Schon die Urbewohner jener Deltaländer im Osten mit ihren weiten Ebenen und dem wolkenlosen Firmamente, die alten Babylonier, Aegypter u. s. w. erkannten ein Gesetz in den Bewegungen der Gestirne, und die wechselnden Bilder des Himmels bedeuteten ihnen Uhr, Kompaß, Kalender — kurz, die Regulatoren ihres Lebens. Was bei diesen Völkern nur fragmentarisch unsichere Kenntniß war, versuchten griechische Philosophen zur Wissenschaft zu erheben. Der Pythagoräer Philolaus sprach bereits aus, daß die Sonne mit allen Planeten ein großes Centralfeuer umkreise, welches er in poetischem Ausdruck den Heerd des Weltalls, die Burg des Zeus, den letzten Zusammenhalt und das Maß der Natur nannte. Hiketas von Syrakus erkannte die Achsendrehung der Erde, ihm folgte Heraklides aus Pontus, bis endlich im Alexandrinischen Zeitalter der Samier Aristarch mit dem Instinkte des Genies zuerst das kopernikanische System, wenn auch nur vermuthend, aufstellte. Doch als sei dieser Gedanke zu kühn für seine Zeit gewesen, — er war es noch im Jahre 1633 nach Christus — beschuldigte man

ihn der Gottesleugnung: denn „er habe die heilige Ruhe der Erde und der Laren gestört". Die alexandrinische Schule ging unter, mit ihr die Wissenschaft, welche sie gepflegt. An die Stelle berechnender Forschung trat dichtender Aberglaube, der hier mehr als irgendwo ein ergiebiges Feld fand. Wie der Patagonier in der Milchstraße den Pfad zu sehen meint, auf dem die Geister der Rothhäute den Strauß und die Antilope jagen, so erblickte noch das mittelalterliche Europa in den Sternen eine auf Seele und Schicksal der Lebenden entweder freundlich oder feindlich wirkende Macht. Es war die Astrologie die mystische Ahnfrau der **Astronomie.** Nachdem aber bereits mit dem beginnenden 15. Jahrhundert richtigere Anschauungen gewonnen waren und erneutes Studium die Entdeckungen der Alten aus der Vergessenheit hervorgezogen, gab Kopernikus der Sternkunde ihre bleibenden und unerschütterlichen Grundlagen, und mit dem Fernrohr gewaffnet, das entsiegelte Auge furchtlos, doch ehrfürchtig emporgehoben, trat sie endlich selbst an der Scheide des 16. Jahrhunderts in ungeahnter Größe hervor.

Indem so die Naturwissenschaft den ganzen Umkreis des Kosmos, vom Stäubchen zu unseren Füßen bis zu den Welten über unserem Haupte in gleicher Weise umfaßt, gewahrt sie allenthalben die Wunderspur einer göttlichen Weisheit, und aus Höhen und Tiefen vernimmt sie den Wiederhall jenes Chorgesanges der Sphären, der einst durch Davids Seele tönte:

Die Himmel erzählen die Ehre Gottes,
und die Veste verkündigt seiner Hände Werk.

H. Masius.

Physik und Meteorologie.

Von

Karl Koppe,

Professor und Oberlehrer in Soest.



Einleitung.

Während die Naturgeschichte die einzelnen, unserer Erde angehörenden Naturkörper kennen lehrt, beschäftigt sich die **Naturlehre** oder **Physik** mit den Eigenschaften, welche den Naturkörpern überhaupt, den organischen sowohl, als den anorganischen, zukommen, mit den Veränderungen, welche dieselben durch ihre gegenseitige Einwirkung erleiden, und mit den Gesetzen, welchen diese Veränderungen unterworfen sind.

Wenn diese Veränderungen blos einzelne Merkmale betreffen, wenn z. B. die in die Lage von Westen nach Osten gebrachte Magnetnadel, sobald sie frei gelassen worden, sich in die Lage von Norden nach Süden bewegt, oder wenn ein Federball bei ausgeübtem Drucke eine Aenderung seiner

Gestalt erfährt, bei nachlassendem Drucke dieselbe wieder herstellt, oder wenn bei erhöhter Temperatur ein Körper sich ausdehnt, bei verminderter Temperatur sich zusammenzieht, also seine Größe verändert, oder wenn beim Erwärmen Eis in flüssiges Wasser und dieses in Dampf sich verwandelt, wenn überhaupt der Zusammenhang der Theile eines Körpers sich in der Art ändert, daß derselbe aus dem festen in den flüssigen, aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand übergeht, oder wenn die wasserhellen Regentropfen in Folge der Brechung der Sonnenstrahlen in denselben in bunter Farbenpracht sich zeigen: — so gehören diese und ähnliche Erscheinungen, da bei denselben nur einzelne Merkmale der Körper, als Lage, Gestalt, Größe, Zusammenhang der Theile, Farbe u. dgl. eine Aenderung erfahren, recht eigentlich der Physik an.

Wenn aber eine derartige Umwandlung erfolgt, daß ein neuer, von den schon vorhandenen verschiedener Körper hervorgeht, wenn z. B. durch das Zusammenreiben und Erwärmen von Quecksilber und Schwefel Zinnober hervorgebracht wird, so wird dieser Proceß nicht mehr zur Physik im eigentlichen oder engeren Sinne, sondern zur Chemie gerechnet, da hier Quecksilber und Schwefel sich zu einem dritten, von beiden verschiedenen Körper, Zinnober, verbunden haben.

Aufs innigste dagegen mit der Physik verschmolzen ist die **Meteorologie**, welche von den Erscheinungen handelt, welche ohne menschliche Einwirkung die Natur im Großen hervorbringt. Da diese Erscheinungen, die so genannten Meteore, die nehmlichen Gesetze, wie alle anderen physikalischen Processe befolgen, so werden wir auch dieselben nicht getrennt in einem besonderen Abschnitte, sondern im Zusammenhange mit den allgemeinen Naturgesetzen vortragen, welchen sie unterworfen sind.

Die Aufgabe der Physik beschränkt sich aber nicht bloß darauf, eine übersichtliche Kenntniß der Erscheinungen zu gewähren; der denkende Geist verlangt von derselben auch noch die Erklärung der Erscheinungen, die Entwickelung der Gründe, auf denen die Erscheinungen beruhen. In dieser Hinsicht sind unseren Forschungen jedoch Grenzen gesetzt, welche wir nicht zu überschreiten im Stande sind. Die letzten Ursachen der Erscheinungen vermögen wir nicht zu ermitteln; wir streben zwar dahin, uns diesem Ziele zu nähern, aber wir gelangen niemals dahin, dasselbe vollständig zu erreichen. — Wir nennen eine Naturerscheinung schon dann erklärt, wenn wir im Stande sind, dieselbe auf ein allgemeines Naturgesetz zurückzuführen. Die Erklärung wird für um so gelungener gelten können, je umfassender und je einfacher zugleich das Gesetz ist, welchem wir dieselbe unterordnen. Die Endursachen aber, durch welche die Erscheinungen hervorgerufen werden, sind und bleiben uns ihrem eigentlichen Wesen nach verborgen.

So beobachten wir z. B., daß alle Körper, welche wir auf unserer Erde antreffen, das Bestreben haben, sich dem Mittelpunkte derselben zu nähern, entweder wirklich fallen, wenn sie sich selbst überlassen sind, oder wenn sie

hieran durch eine Unterlage verhindert werden, auf diese einen Druck ausüben. Wir schreiben die Ursache dieser Erscheinung einer besonderen Kraft zu, welcher wir den Namen Schwere beilegen. Worin aber eigentlich diese Kraft besteht, welches das Wesen derselben ist, vermögen wir nicht anzugeben.

Ueberhaupt bezeichnen wir mit dem Namen Kräfte die uns unbekannten Ursachen, durch welche unter gewissen Bedingungen Bewegungen hervorgerufen werden. So sprechen wir von der Kraft des Magnetismus, der Electricität u. dgl. und schreiben denselben gewisse Wirkungen zu; wir sind jedoch nicht im Stande, diese Kräfte selbst nachzuweisen; wir schließen nur auf das Vorhandensein derselben aus bestimmten Erscheinungen, welche wir beobachten, und weil wir uns keine Erscheinung als etwas rein Zufälliges, sondern nur als die Wirkung einer bestimmten Ursache denken.

Vermögen wir nicht das Wesen der Dinge, aus welchem die Erscheinungen fließen, zu ergründen, so stellen wir uns doch die Aufgabe, die Gesetze zu ermitteln, denen dieselben unterworfen sind. Aber auch hier gelangen wir nie vollständig ans Ziel. Theils eröffnen uns die Fortschritte der Wissenschaft neue Gebiete des Forschens; theils sind die bereits gewonnenen Resultate der Verbesserung, Vervollständigung und Vervollkommnung fähig und bedürftig.

Wenn wir auch annehmen dürfen, daß der Schöpfer die Natur nach vielleicht eben so einfachen, als erhabenen Gesetzen geordnet hat, so sind wir doch von der Kenntniß dieser Gesetze selbst noch unendlich weit entfernt. Unsere sogenannten Naturgesetze sind immer nur ein höchst unvollkommener Ausdruck der wirklich stattfindenden Erscheinungen. Die Natur ist nach so erhabenen Verhältnissen geregelt, nach einem so großartigen Maaßstabe gebaut, daß wir auch selbst nur in dem kleinsten Theile dieselbe nicht vollständig auszumessen vermögen. Wenn einerseits hierzu die Wunder der Welt im Kleinen, welche uns durch die in neuerer Zeit in großer Vollkommenheit ausgeführten Mikroskope aufgeschlossen worden ist, in Körperchen, welche sich durch ihre Kleinheit der Wahrnehmung durch das unbewaffnete Auge gänzlich entziehen, zahlreiche Belege liefern, so erweisen sich andererseits auch die Vorgänge, welche wir für gewöhnlich an der uns umgebenden Körperwelt beobachten, selbst die anscheinend einfachsten Veränderungen, welche in dieser vorgehen, wenn wir dieselben einer gründlichen und tiefer eingehenden Betrachtung unterwerfen, allemal so unendlich verwickelt, daß wir sie vollständig nicht durch ein erschöpfendes Gesetz auszudrücken vermögen.

Eine der alltäglichsten Erscheinungen ist das Fallen nicht unterstützter Körper; wir finden in den physikalischen Lehrbüchern in dem dieser Erscheinung gewidmeten Abschnitte allerdings Gesetze des Falles aufgeführt. Aber diese Gesetze gelten nur für einen hypothetischen Fall unter der Voraussetzung, daß die Bewegung des fallenden Körpers in einem gänzlich leeren Raume geschieht, daß die Schwere des Körpers dadurch, daß er sich während des Falles dem Mittelpunkte der Erde nähert, keinen Zuwachs erfährt, sondern

beständig dieselbe Größe behält, daß überdieß außer der Schwere keine anderen die Bewegung beschleunigenden oder verzögernden Kräfte auf den fallenden Körper einwirken, Bedingungen, wie sie nie und nirgends in der Natur angetroffen werden. Die Bewegung irgend eines fallenden Körpers in der Wirklichkeit ist eine so verwickelte Erscheinung, es findet in derselben ein Zusammenwirken so mannigfaltiger Naturkräfte statt, daß wir nicht hoffen dürfen, jemals dahin zu gelangen, die Gesetze dieser so alltäglichen und anscheinend so einfachen Erscheinung vollständig und erschöpfend zu entwickeln.

Die Geschichte der Wissenschaft liefert uns ferner zahlreiche Beispiele, daß Gesetze, welche bei ihrer ersten Entdeckung als unbedingt giltig aufgestellt worden sind, sich später nur als Annäherungen an die Wahrheit erwiesen haben. Eins der fruchtbarsten Gesetze, das im Jahre 1660 von Boyle entdeckt worden ist, gewöhnlich aber nach Mariotte genannt wird, daß die luftförmigen Körper in gleichem Verhältnisse mit der drückenden Kraft ihr Volumen verändern, ein Gesetz, welches die Grundlage für die Erklärung eben so zahlreicher, als wichtiger Erscheinungen bildet, verliert dennoch für alle Gase ohne Ausnahme, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, seine Giltigkeit, wenn der Druck eine gewisse Grenze überschreitet, und erweist sich bei strenger Prüfung auch für einen mäßigen Druck nicht als vollkommen genau, sondern nur als annähernd richtig.

Es gewähren überhaupt die in neuerer Zeit in allen Zweigen der Physik gemachten reichen Fortschritte nicht blos die Kenntniß neuer Erscheinungen, die Aufdeckung bis dahin unbekannter Naturkräfte; sie führen eben so zur Berichtigung und genauern Erforschung der nach einem früheren Standpunkte der Wissenschaft aufgestellten Naturgesetze.

Unsere Aufgabe soll es nun sein, die wichtigeren Erscheinungen und Gesetze nach dem Standpunkte, welchen gegenwärtig die Wissenschaft erreicht hat, mit Berücksichtigung der neuesten Entdeckungen unsern Lesern vorzutragen.

I.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper.

Die Eigenschaften, welche wir an den Naturkörpern wahrnehmen, sind theils **allgemeine**, welche allen Körpern und unter allen Umständen zukommen, theils **besondere**, welche die Körper nur unter gewissen Bedingungen zeigen, oder die überhaupt nur an gewissen Körpern angetroffen werden. Die **allgemeinen Eigenschaften** zerfallen wieder in **nothwendige**, nehmlich **Ausdehnung** und **Undurchdringlichkeit**, ohne welche wir uns einen Körper gar nicht denken können, und in **zufällige**, nehmlich **Porosität**, **Theilbarkeit**, **Beweglichkeit** und **Schwere**, welche zwar auch bei allen uns bekannten Körpern vorkommen, während es doch nicht geradezu undenkbar ist, daß noch einmal ein Körper aufgefunden würde, welchem die eine oder die andere dieser letztern Eigenschaften fehlte. Allgemeine Eigenschaften.

Wir wollen nun die einzelnen dieser allgemeinen Eigenschaften in der Reihenfolge, in welcher wir dieselben eben angeführt haben, näher erörtern.

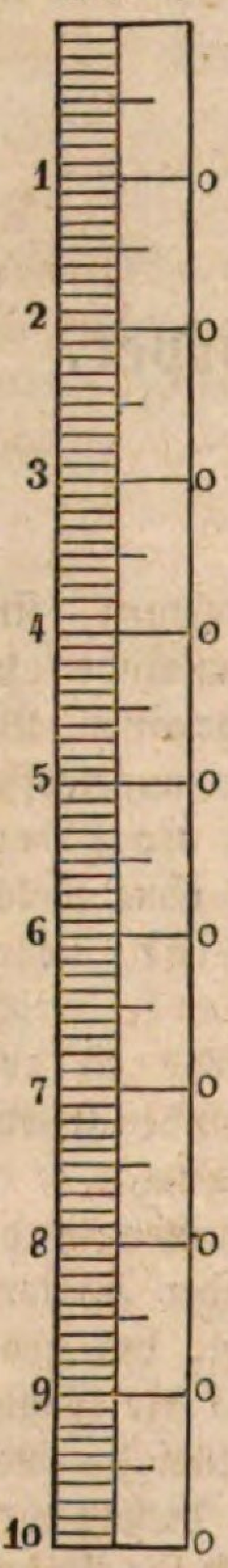
Wir verstehen zunächst unter **Ausdehnung** die Eigenschaft, daß jeder Körper einen Raum einnimmt. Wir unterscheiden in dieser Hinsicht die Gestalt und Größe des Körpers. So unendlich mannigfaltig die Gestalten der verschiedenen Naturkörper sind, nicht minder verschieden zeigen sich dieselben in Hinsicht ihrer Größe. Der größte aller bekannten Naturkörper ist die Sonne, deren Durchmesser 192,000 Meilen übersteigt; zu den kleinsten, durch Vergrößerungsgläser noch wahrnehmbaren Naturkörpern gehören die Infusionsthierchen, deren oft Tausende in einem Tröpfchen Wasser umherschwimmen. Ausdehnung.

Doch nicht blos bei den größten und kleinsten, auch bei allen andern Naturkörpern, Thieren, Pflanzen und Mineralien, welche durch hervorragende Eigenschaften unser Interesse erregen, verlangen wir, besonders wenn wir dieselben nicht durch unmittelbare Anschauung, sondern nur durch Beschreibung kennen lernen, eine nähere Angabe über die Größe derselben.

Zur Bestimmung der Größe eines Körpers führt die Abmessung der Länge, Breite und Höhe desselben. Die hierzu dienenden Maaße sind jedoch sehr verschieden, indem fast in jedem Lande und Ländchen ein eigenthümliches, von andern abweichendes Maaß gebräuchlich ist, woraus dann die große Unbequemlichkeit entspringt, daß die nach irgend einem Landesmaaße ausgedrückten Größenbestimmungen, wenn sie für die Bewohner eines andern Landes verständlich sein sollen, in der Regel von diesen erst durch eine lästige und zeitraubende Rechnung in das gebräuchliche und bekannte Maaß umgesetzt werden müssen.

Um diesen vielfach gefühlten Uebelständen zu begegnen, stellte sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die französische Regierung die Aufgabe, ein natürliches und allgemein giltiges Maaß, ohne Bevorzugung irgend einer Nationalität, einzuführen. Dem gemäß wurde nach Ausführung genauer Gradmessungen der 10millionste Theil des nördlichen Meridianquadranten, (also Neufranzösisches Maaß.

(Fig. 1.)



der 40millionste Theil eines ganzen Meridians) als Längeneinheit angenommen und mit dem Namen **Meter** bezeichnet*). Der 10te Theil des Meters wurde **Decimeter**, der 10te Theil des Decimeters, als der 100ste Theil des Meters, **Centimeter**, und der 10te Theil des Centimeters, als der 1000ste Theil des Meters, wurde **Millimeter** genannt. 1000 Meter aber erhielten den Namen **Kilometer**. Die nebenstehende Fig. 1 stellt einen in Centimeter und Millimeter getheilten Decimeter dar. 400 Millionen solcher Decimeter würden also zusammen einen Meridian der Erde ausmachen.

Obschon nun dieses neuere französische Maaß gegenwärtig bei wissenschaftlichen Bestimmungen vorzugsweise angewandt wird, so hat dasselbe doch noch kaum in Frankreich allgemeinen Eingang, viel weniger in anderen Ländern für den bürgerlichen Verkehr Verbreitung gefunden. Wir werden uns daher, um unseren Lesern ein leichteres Verständniß und größere Anschaulichkeit zu gewähren, neben jenem Maaße auch des besonders früherhin in naturwissenschaftlichen Angaben sehr gebräuchlichen, älteren französischen Maaßes bedienen, bei welchem der **Pariser Fuß** (= 325 Millimeter) in 12 **Zoll**, der Zoll in 12 **Linien** getheilt, die Länge von 6 Fuß aber eine **Toise** genannt wird. Obschon die in anderen Ländern gebräuchlichen Fußmaaße mit dem älteren französischen Fuße nicht genau übereinstimmen, so ist doch der Unterschied mehrentheils nicht so groß, daß eine Verwechselung des einen mit dem anderen Maaße, wo es sich nicht um absolute Genauigkeit, sondern nur um eine ohngefähr richtige Schätzung handelt, wesentliche oder erhebliche Irrthümer veranlassen dürfte.

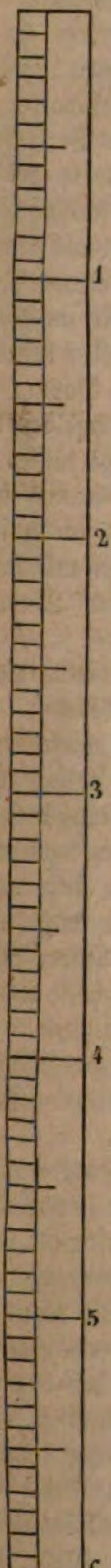
Aelteres Pariser Maaß. Die nebenstehende Fig. 2 zeigt die Länge von 6 Pariser Zollen, deren jeder in 12 Linien getheilt ist. Die folgende Tabelle aber kann zur Vergleichung einiger der gebräuchlichsten Fußmaaße verschiedener Länder dienen:

1 Pariser Fuß	= 325	Millimet.	1 Hessen-Darmstädt. Fuß	= 250	Millimet.
1 rheinl. od. preuß. Fuß	= 314	„	1 Badenscher Fuß . . .	= 300	„
1 Wiener Fuß	= 316	„	1 Engl. u. Russischer Fuß	= 305	„
1 Würtembergischer Fuß	= 286	„	1 Schwedischer Fuß . .	= 297	„
1 Bairischer Fuß	= 292	„	1 Dänischer Fuß	= 314	„

Undurchdringlichkeit. Die andere nothwendige allgemeine Eigenschaft, die **Undurchdringlichkeit**, besteht darin, daß in dem nehmlichen Raume nicht zugleich zwei Körper sein können. Ein Körper kann wohl aus dem von ihm eingenommenen Raume durch einen anderen Körper verschoben, nach einer anderen Stelle hin getrieben werden, so daß dieser jetzt an die Stelle des ersteren tritt; aber niemals ist es möglich, daß zwei Körper sich zu gleicher Zeit in dem nehmlichen Raume befinden. Ist ein Körper, auf welchen ein Druck ausgeübt wird, am Ausweichen verhindert, so kann derselbe wohl in einen engeren Raum zusammengepreßt werden. So läßt sich z. B. die Luft in einem Cylinder durch einen dicht anschließenden Kolben vermöge eines auf diesen ausgeübten Druckes in einen engeren Raum zusammenpressen, welcher sich um so mehr vermindert, je größer der ausgeübte Druck ist; aber immer wird noch, wenn der Kolben vollkommen dicht anschließt, so daß keine Luft seitwärts entweichen kann,

*) 1 Meter = 3,078 par. Fuß.

(Fig. 2.)



ein von der verdichteten Luft in dem Cylinder eingenommener Raum übrig bleiben; es ist nicht möglich, den Kolben ganz bis auf den Boden nieder zu pressen.

Wenn man ein Licht auf Wasser zum Schwimmen bringt, über dasselbe eine gläserne Glocke, wie dieß Fig. 3 zeigt, stürzt, so kann man die Glocke bis auf den Boden des Gefäßes niederdrücken und das Licht bis unter die Oberfläche des Wassers im Gefäße einsenken, indem die in der Glocke enthaltene Luft dem Eindringen des Wassers Widerstand leistet. (Das Licht wird jedoch allmählich immer schwächer brennen, da es den Sauerstoff der abgesperrten Luft verzehrt, und nach einiger Zeit auslöschen.)

(Fig. 3.)



Auf ähnlichem Principe, wie der eben beschriebene Versuch, beruht die T a u c h e r g l o c k e. Diese besteht am zweckmäßigsten aus einem geräumigen, unten offenen eisernen Kasten, welcher vermöge eines am oberen Boden befestigten Seiles in das Meer hinabgelassen wird. Je tiefer die Glocke niedersinkt, um so höher steigt auch das von unten eindringende Wasser in derselben, über welchem sich jedoch immer noch ein mit Luft erfüllter Raum befindet. In der Glocke sind Bänke zum Sitzen für die in derselben befindlichen Personen, und im Deckel derselben sind starke Glasplatten angebracht, um Licht einzulassen. Da die Luft durch das Athmen bald verdorben werden würde, so führt vom Deckel der Glocke bis zur Oberfläche des Meeres ein Schlauch, durch welchen vermittelst einer Druckpumpe beständig frische Luft eingepumpt wird. Hat diese den ganzen Raum der Glocke ausgefüllt, so entweichen bei fortgesetztem Pumpen Luftblasen am unteren Rande der Glocke. Indem auf diese Art sich die Luft beständig erneuern läßt, können Arbeiter mehrere Stunden auf dem Meeresboden verweilen und aufgetragene Arbeiten verrichten.

Das den Raum, welchen ein Körper einnimmt, Erfüllende, welches es unmöglich macht, daß zwei Körper sich zugleich in dem nehmlichen Raume befinden, nennen wir M a t e r i e, und die wirklichen Körper, die Naturkörper, werden daher auch m a t e r i e l l e zum Unterschiede von den blos gedachten mathematischen Körpern genannt.

In keinem Naturkörper ist jedoch der von demselben eingenommene Raum Porosität.
vollständig mit Materie ausgefüllt; in allen Körpern giebt es leere Zwischenräume, welche man P o r e n nennt. P o r o s i t ä t ist daher, so weit unsere

Erfahrung reicht, ebenfalls eine allen Körpern zukommende Eigenschaft. Da wir uns aber auch wohl einen Körper ohne Poren denken können, so gehört diese allgemeine Eigenschaft nicht mehr zu den nothwendigen, sondern zu denjenigen, welche wir oben als zufällige allgemeine Eigenschaften der Naturkörper bezeichnet haben. — Bei einem Schwamme sind die Poren schon dem bloßen Auge sichtbar; bei anderen Körpern zeigen sich die Poren bei der Betrachtung durch Vergrößerungsgläser. So zeigt z. B. die menschliche Haut unter dem Mikroskope auf dem Raume eines Quadratzolles mehr als tausend Poren. Auch andere Erscheinungen weisen uns das Vorhandensein von Poren in den Körpern nach. Holz und viele Steine nehmen, wenn sie im Wasser liegen, von diesem in ihre Poren auf und vermehren hierdurch ihr Gewicht. Auch die dichtesten Körper, die Metalle, sind nicht frei von Poren, wie daraus hervorgeht, daß bei starkem Drucke sich Wasser durch dieselben hindurchpressen läßt. Die Mitglieder der Academie zu Florenz füllten im Jahre 1661 hohle goldene Kugeln mit Wasser, schroben dieselben mit einem Deckel zu und lötheten denselben fest. Als hierauf die Kugeln stark zusammengepreßt wurden, bedeckte sich die ganze Oberfläche derselben mit feinen Wassertröpfchen. Der nehmliche Versuch ist später mit anderen Metallen und gleichem Erfolge wiederholt worden.

Daß auch im Wasser und anderen Flüssigkeiten mit Luft erfüllte Poren vorhanden sind, zeigen die beim Erwärmen aufsteigenden Luftbläschen.

Vermöge der in den Körpern vorhandenen Poren können dieselben in einen engeren Raum zusammengepreßt werden. Am leichtesten gelingt dies bei der Luft, welche bei mäßigem Drucke fast in demselben Verhältniß ihr Volumen vermindert, in welchem ein auf dieselbe ausgeübter Druck zunimmt. Wasser und andere Flüssigkeiten geben auch dem stärksten Drucke sehr wenig nach. Feste Körper zeigen in dieser Hinsicht, je nachdem sie mehr oder weniger porös sind, ein verschiedenes Verhalten. Schwämme, Papier, Leder, gewebte Zeuge, Holz lassen sich leicht zusammenpressen; bei hinreichend starkem Druck vermindern aber auch sehr dichte Körper ihren Raumesinhalt. So werden z. B. Metalle beim Hämmern verdichtet. Eben so zeigen Münzen nach dem Prägen in Folge des hierbei auf dieselben ausgeübten heftigen Stoßes ein geringeres Volumen, als sie vorher besaßen.

Elasticität. Körper, welche durch einen Druck eine Veränderung ihrer Gestalt erfahren haben, streben meist dieselbe mit mehr oder weniger Kraft wieder herzustellen. Man nennt diese Eigenschaft Elasticität. Die vollkommenste Elasticität besitzt die Luft, welche sich mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt worden ist, wieder auszudehnen strebt. Unter den festen Körpern sind Kautschuk (Gummi elasticum), Elfenbein, Stahl, Messing u. a. m. im hohen Grade elastisch.

Unter allen elastischen Körpern findet besonders der Stahl die mannigfaltigsten Anwendungen. Die Stahlfedern, mit welchen wir schreiben, verdanken ihrer Elasticität diesen nützlichen Gebrauch. Andere sehr bekannte Beispiele sind die Springfedern in Polstern, die Federn in den Schlössern, Taschenmessern, in Taschen- und Tafeluhren, in denen eine spiralförmig gewundene Feder, welche vermöge ihrer Elasticität sich aufzurollen strebt, das Räderwerk in Bewegung setzt.

Ein Beispiel, bei welchem wir etwas ausführlicher verweilen wollen, ist die Federwage. Fig. 4 zeigt eine sehr gewöhnliche Einrichtung derselben. In einem hohlen Cylinder ist eine elastische Feder angebracht, welche mit ihrem unteren Ende gegen den Boden der Röhre, mit ihrem oberen Ende

(Fig. 4.)



gegen das ausgebreitete Ende einer dünnen Stange drückt, welche durch den unteren Boden hindurchgeht und an ihrem hervorragenden Ende in einen Haken ausläuft, an welchem sich die abzuwägende Last anhängen läßt. Je größer das Gewicht dieser Last ist, um so mehr wird die elastische Feder zusammengedrückt, und um so größer ist auch der durch den unteren Boden hervortretende Theil der Stange, welche nach einer auf derselben angebrachten Eintheilung die Größe des Gewichtes der angehängten Last anzeigt.

Diese Wagen werden besonders dadurch bequem, daß man sie leicht mit sich führen kann, gewähren aber nur einen geringen Grad von Genauigkeit.

Theilbarkeit.

Eine Eigenschaft, welche ferner allen Körpern ohne Ausnahme zukommt, ist die **Theilbarkeit**. Alle uns bekannten Körper lassen sich **theilen** und die erhaltenen Theile wieder in kleinere Theile zerlegen. Von hohem Interesse ist die Frage, ob sich die Theilung ins Unendliche fortsetzen läßt, ob die Materie ohne Ende theilbar ist, oder ob in der Materie kleinste Theilchen existiren, welche absolut untheilbar sind. Auf diese Frage können wir nur antworten, daß noch Niemand, wie weit auch auf künstlichem Wege die Theilung getrieben wurde, auf Theilchen gestoßen ist, welche nicht noch weiter hätten getheilt werden können. Dennoch bleibt es immer möglich, daß die Materie aus kleinsten, nicht weiter theilbaren Theilchen, so genannten **Atomen**, zusammengesetzt ist, welche wegen ihrer Kleinheit sich der Wahrnehmung unserer Sinne entziehen, auch durch das Mikroskop bei den stärksten Vergrößerungen, welche wir anzuwenden vermögen, nicht sichtbar werden, weshalb auch die Theilbarkeit nicht zu den nothwendigen, sondern zu denjenigen allgemeinen Eigenschaften gehört, denen wir oben den Namen zufällige beigelegt haben.

In wie hohem Grade aber die Materie **wirklich** theilbar ist, mögen folgende Beispiele zeigen. Es ist bekannt, daß ein Ducaten ausreicht, eine Reiterstatue zu vergolden. So vielmal nun die Fläche des Ducatens in der Oberfläche der Statue enthalten ist, eben so vielmal muß auch die Dicke der Vergoldung geringer sein, als die Dicke des Ducatens.

Bei der Anfertigung des sogenannten Golddrahtes, wie er zu den Lyoner Spitzen verwandt wird, wird zunächst eine Silberstange vergoldet und dann zu feinem Drahte ausgezogen. **Réaumur** berechnete aus der Menge des verbrauchten Goldes und aus der Dicke und Länge des erhaltenen Drahtes, daß die Dicke der den Draht überkleidenden Goldschicht noch nicht den 300,000sten Theil einer Pariser Linie betrug, und dennoch erwies sich die Vergoldung auch bei der stärksten Vergrößerung, welche das Mikroskop gewährte, als eine zusammenhängende, durch keine Lücke unterbrochene Fläche. Existiren also wirklich Atome, so muß ihr Durchmesser noch kleiner, als die eben angegebene Größe sein.

So außerordentlich weit getrieben auch die Theilung in dem eben angeführten Beispiele erscheint, so wird dieselbe doch noch durch die Feinheit der Theilchen, welche von riechenden Stoffen ausströmen, übertroffen. Bringt man in ein Zimmer ein Stückchen Moschus nur von der Größe eines Hirsekorns, so verbreitet sich der Geruch nach Moschus schnell durch das ganze Zimmer und dauert fort, selbst wenn die Luft in diesem mehrmals gewechselt wird. Nehmen wir an, daß das Zimmer 25 Fuß lang, 20 Fuß breit und 15 Fuß hoch ist, so beträgt der Raumesinhalt desselben über zwölf

Millionen Kubikzoll, und dennoch dürften in jedem Kubikzoll Luft, welcher beim Einathmen unsern Geruchssinn afficirt, Theilchen Moschus enthalten sein.

Das eben Ausgeführte zeigt uns zugleich, wie der Geruchssinn an Empfindlichkeit alle anderen Sinne übertrifft und uns das Vorhandensein von Körpertheilchen nachweist, welche wir durch die übrigen Sinne, auch den so feinen Gesichtssinn, selbst bei der künstlichen Unterstützung durch vergrößernde Gläser nicht wahrzunehmen vermögen. Wie wohlthätig der Schöpfer auch durch diesen, vielleicht von Vielen gering geachteten Sinn für uns gesorgt hat, möge die Erinnerung daran belegen, daß oft der Gefahr eines drohenden Brandes, einer Erstickung in einem Raume, in welchem das Auge keine veränderte Beschaffenheit der Luft wahrnimmt, durch die eigenthümliche Affection des Geruchssinns vorgebeugt wird.

Die oben angeführten und andere Beispiele einer außerordentlich feinen Zertheilung der Materie beweisen indeß noch nicht, daß die Materie ohne Ende theilbar ist. Vielmehr sprechen gewisse Erscheinungen im Gebiete der Chemie dafür, daß alle Körper aus nicht weiter zerlegbaren Theilchen, Atomen, bestehen. Bemerken müssen wir jedoch, daß die Atome, wenn sie wirklich existiren, für unsere Sinne nicht wahrnehmbar sind, daß noch kein Physiker Atome beobachtet oder auf dem Wege der Erfahrung nachgewiesen hat.

Aggregatszustand.

Sehr verschieden ist der Widerstand, welchen die Körper der wirklichen Trennung ihrer Theile entgegensetzen. Aeußerst leicht lassen sich die flüssigen und luftförmigen Körper theilen; mehr oder minder beträchtlich ist dagegen der Widerstand, welchen die festen Körper der Theilung entgegensetzen. Diese dreifache Verschiedenheit: fest, flüssig und luftförmig, unter welcher wir die Körper antreffen, kann jedoch keine allgemeine Eintheilung der Naturkörper überhaupt begründen, da der nehmliche Körper alle drei Zustände durchlaufen kann. So zeigt sich uns das Wasser bei niedrigen Temperaturen im festen Zustande, als Eis, bei der gewöhnlichen Lufttemperatur im flüssigen Zustande und bei erhöhter Temperatur im luftförmigen Zustande, als Dampf. Eben so lassen sich auch andere Körper, die meisten Metalle, Schwefel u. a. m. durch alle drei Zustände hindurchführen. Wenn dies noch nicht bei allen Körpern gelungen ist, so mag es zum Theil daran liegen, daß wir nicht im Stande sind, die erforderliche Temperatur hervorzubringen; zum Theil auch erleiden viele Körper in höheren Temperaturen eine chemische Umgestaltung. So läßt sich z. B. Holz nicht schmelzen, da dasselbe in der Hitze eine Umwandlung seiner chemischen Bestandtheile erfährt.

Man bezeichnet aber die Verschiedenheit des festen, flüssigen und luftförmigen Zustandes mit dem Namen des Aggregatzustandes.

Manche luftförmige Körper gehen schon bei einer mäßigen Temperaturerniedrigung oder bei vermehrtem Drucke aus dem luftförmigen Zustande in den flüssigen über. Man nennt diese gewöhnlich Dämpfe. Ein bekanntes Beispiel bietet der Wasserdampf dar. Andere luftförmige Körper (z. B. Kohlensäure) erleiden diese Veränderung erst bei sehr starkem Drucke oder sehr niedriger Temperatur, und bei einigen, wie z. B. bei der atmosphärischen Luft, ist es überhaupt noch nicht gelungen, die zu dieser Umwandlung erforderlichen Bedingungen herzustellen. Man giebt diesen gewöhnlich den Namen Gase. Zwischen Dämpfen und Gasen findet hiernach kein wesentlicher Unterschied, sondern nur die Verschiedenheit statt, daß wir Körper der ersten Art seltener im luftförmigen, häufiger im flüssigen Zustande, letztere dagegen gewöhnlich nur in diesem antreffen.

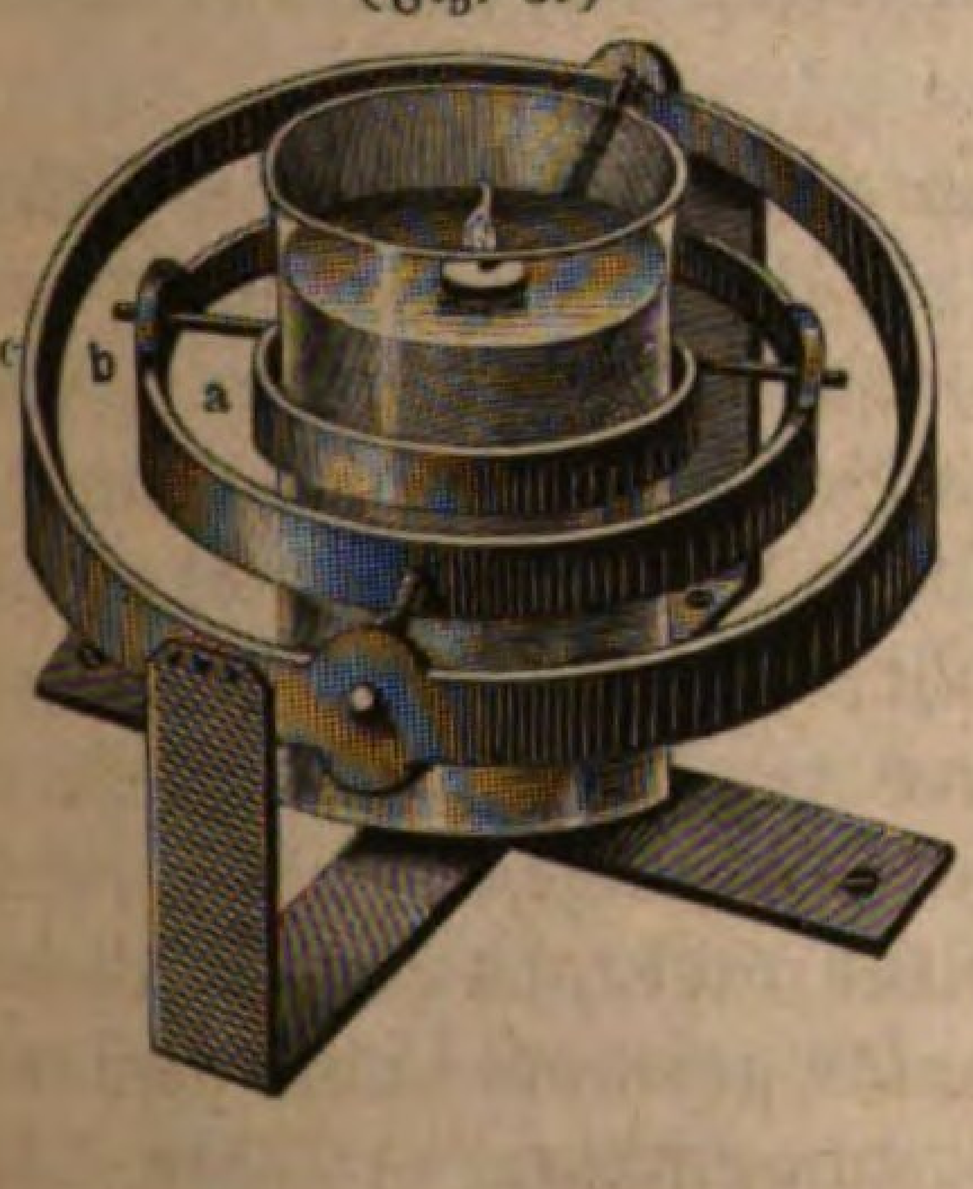
Eine weitere allgemeine Eigenschaft der Körper ist die Schwere. Alle Körper, welche wir auf unserer Erde antreffen, sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, sich nach unten, nach dem Mittelpunkte der Erde hin zu bewegen, und wenn sie durch eine Unterlage hieran verhindert sind, üben sie auf dieselbe einen Druck aus. Man nennt diesen Druck das Gewicht der Körper. Schwere und Gewicht verhalten sich daher wie Ursache und Wirkung. Das Gewicht eines Körpers dient uns zugleich als Maaß der Masse desselben, d. h. der Menge der in dem Körper enthaltenen Materie, indem es uns an jedem anderen Mittel zur Bestimmung dieser Größe fehlt. Haben zwei Körper bei gleichem Raumesinhalt ein verschiedenes Gewicht, also ungleiche Masse, so nennt man denjenigen, welcher ein größeres Gewicht besitzt, den dichteren. Schwere.

Die größte Dichtigkeit unter allen bekannten Körpern besitzen die Metalle und unter diese gehören wieder Platin und Gold zu den am meisten dichten. Platin ist ohngefähr 21mal, Gold 19mal so dicht als Wasser, mit welchem man überhaupt in Beziehung auf die Dichtigkeit alle anderen Körper zu vergleichen pflegt. Ein Kubikzoll Platin wiegt also 21mal, ein Kubikzoll Gold 19mal so viel, als ein Kubikzoll Wasser.

Die geringste Dichtigkeit besitzen die luftförmigen Körper. Die atmosphärische Luft ist 770mal leichter als Wasser, und das Wasserstoffgas, der leichteste aller bekannten Körper, ist noch 14mal leichter, als atmosphärische Luft.

Alle Körper haben vermöge ihrer Schwere, wie schon bemerkt, das Bestreben zu fallen. Soll ein Körper am Fallen verhindert werden, so muß derselbe in irgend einer Weise unterstützt sein. In jedem Körper giebt es einen Punkt, dessen alleinige Unterstützung schon ausreicht, um ihn am Fallen zu hindern. Man nennt diesen Punkt den Schwerpunkt. Hängt ein Körper an einem Faden, so nimmt derselbe von selbst eine solche Lage an, daß der Schwerpunkt senkrecht unter den Aufhängepunkt zu liegen kommt. Wird der Körper aus dieser Lage gebracht und sich dann selbst überlassen, so kehrt er in dieselbe zurück, wie dies jedes aufgehängte Pendel zeigt. Schwerpunkt.

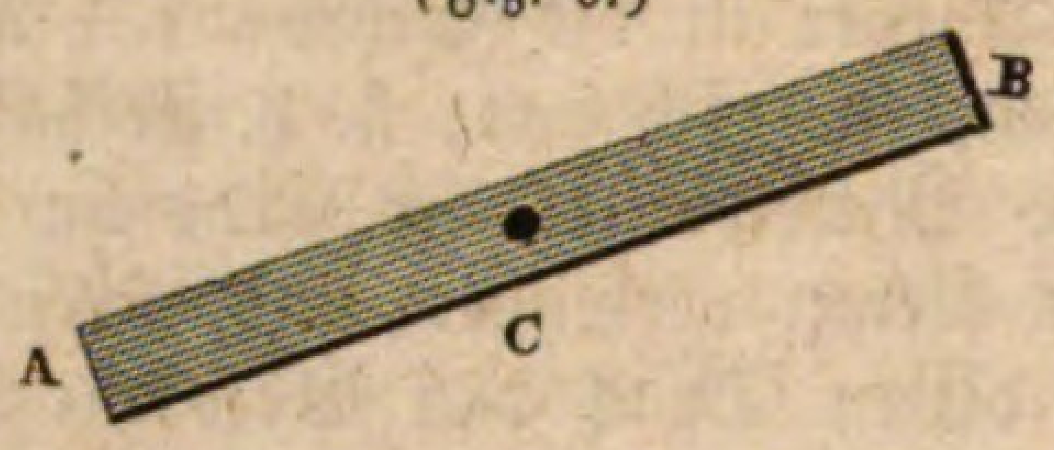
(Fig. 5.)



Man kann im Allgemeinen die Regel aufstellen, daß der Schwerpunkt dahin strebt, die möglich tiefste Lage einzunehmen. Dieses Princip findet nützliche Anwendung bei dem Schiffscompaß und der Schiffslampe (Fig. 5). An dem Gefäß der Lampe ist ein dasselbe umgebender Ring a befestigt, welcher um zwei Stifte drehbar ist, die von einem weiteren Ringe b getragen werden. Dieser Ring ist selbst wieder um zwei andere Stifte drehbar, die von einem noch größeren, mit dem Gestelle der Lampe fest verbundenen Ringe c getragen werden und sich mit den eben erwähnten Stiften senkrecht kreuzen. Da der Schwerpunkt der Lampe beträchtlich tiefer, als die Drehungspunkte liegt, so behält dieselbe auch bei Schwankungen des Schiffes die senkrechte Lage bei.

Wenn an einem Körper eine Axe, um welche sich derselbe drehen läßt, so angebracht ist, daß der Schwerpunkt in diese Axe fällt, so äußert der Körper kein Streben, eine bestimmte Lage anzunehmen; derselbe kann vielmehr in jeder willkührlichen Lage ruhen. Ein Rad, welches um eine durch

(Fig. 6.)



den Schwerpunkt gehende Axe drehbar ist, bietet ein bekanntes Beispiel dar. Aber auch jeder andere um eine Axe drehbare Körper, z. B. der Balken AB, Fig. 6, ruht in jeder willkührlichen Lage, wenn die Drehungsaxe durch den Schwerpunkt C geht.

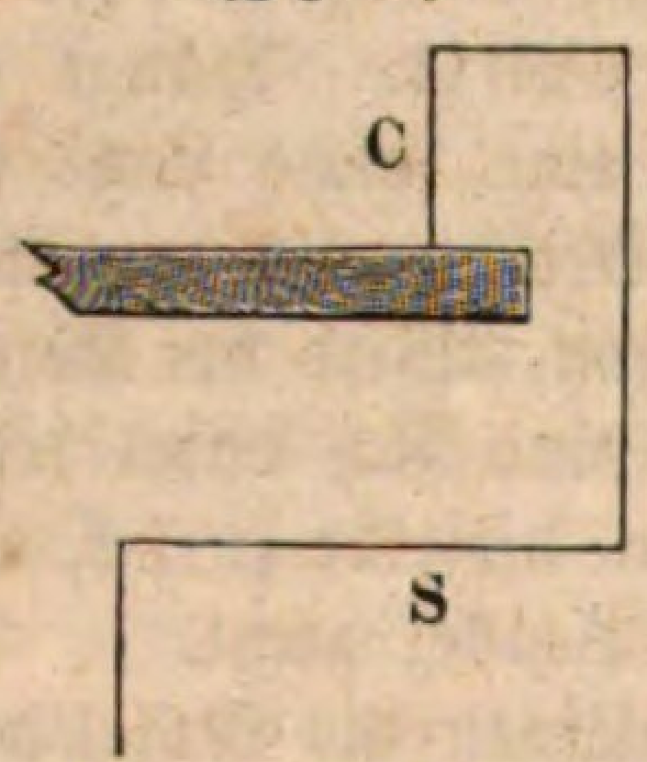
Wenn ein Körper, z. B. ein Kegel, auf eine Spitze gestellt wird, so kann derselbe zwar ebenfalls ruhen, wenn der unterstützte Punkt C, Fig. 7, genau in lothrechter Linie unter dem Schwerpunkte S liegt; allein der Körper schlägt gänzlich um, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist.

(Fig. 7.)



Die Kunst des Balancirens beruht darauf, den unterstützten Punkt immer genau unter den Schwerpunkt zu bringen. — Ein Körper, dessen Schwerpunkt hoch liegt, z. B. ein am oberen Ende mit einem metallenen Knopfe versehener Stock ist leichter zu balanciren, weil beim Umfallen der Schwerpunkt einen weiteren Weg durchläuft und wegen der hierzu erforderlichen längeren Zeit es eher gelingt, den unterstützten Punkt wieder unter den Schwerpunkt zu bringen. Rotirende Körper sind leichter als ruhende zu balanciren, weil bei jenen der Schwerpunkt einen Kreis beschreibt, und bei rascher Rotation fast nur erforderlich ist, daß der unterstützte Punkt sich lothrecht unter der Fläche dieses Kreises befindet.

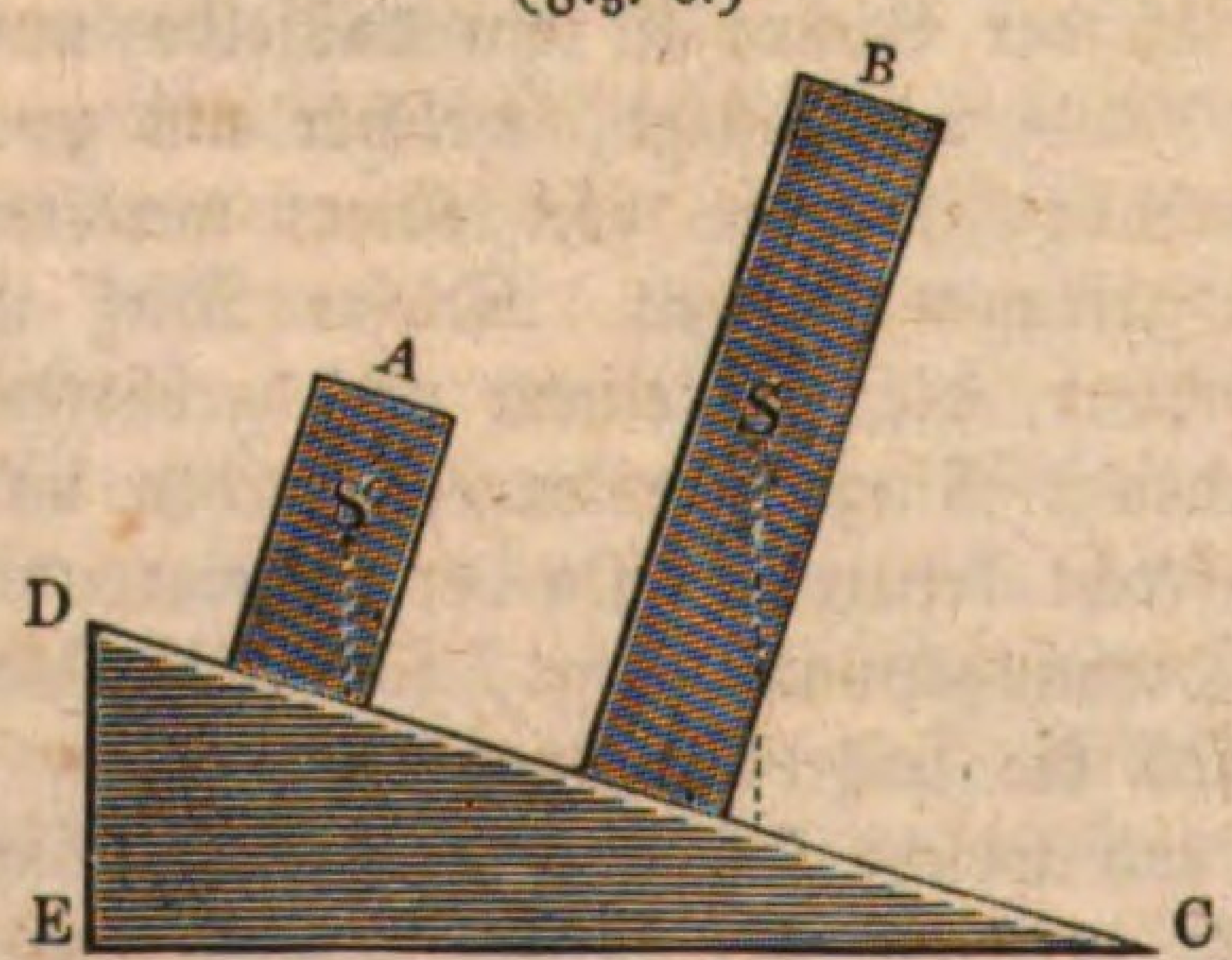
(Fig. 8.)



Ohne alle Schwierigkeit aber ist ein in der Art, wie Fig. 8 zeigt, gebogener Drath zu balanciren, da hier der Schwerpunkt S eine tiefere Lage einnimmt, als der unterstützte Punkt C. Auf gleichem Grunde beruhen mancherlei Spielwerke, wie z. B. das Männchen mit der Säge.

Soll ein Körper auf einer Unterlage mit Sicherheit ruhen, so reicht ein Unterstützungspunkt nicht aus; es bedarf hierzu einer unterstützenden Fläche. Aber auch hier muß die Bedingung erfüllt sein, daß eine durch den Schwerpunkt gehende lothrechte Linie die unterstützende Fläche durchschneidet. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so fällt der Körper um. Der Körper A, Fig. 9, kann z. B. auf der schiefen Unterlage CD ohne Gefahr des Umfallens ruhen, da ein durch seinen Schwerpunkt S gehendes Loth noch innerhalb der unterstützenden Fläche fällt. Der Körper B muß dagegen umfallen, weil wegen der höheren Lage seines Schwerpunktes S die durch diesen gehende lothrechte Linie nicht mehr die Unterstützungsfläche durchschneidet. Ein Wagen läuft daher auf einer schiefen Straße um so größere Gefahr umzufallen, je höher derselbe beladen ist, und je höher in Folge hiervon sein Schwerpunkt zu liegen kommt.

(Fig. 9.)



Bei einem aufrecht stehenden Menschen fällt der Schwerpunkt ohngefähr in die Mitte des Unterleibes, und eine durch denselben gezogene lothrechte Linie durchschneidet die zwischen den Füßen befindliche Fläche. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so muß der Mensch fallen, wenn es ihm nicht gelingt, dieselbe wieder herzustellen. Läuft ein Mensch Gefahr, nach der linken Seite zu fallen, so hebt er fast unwillkührlich den rechten Arm und Fuß in die Höhe, um den Schwerpunkt mehr nach dieser Seite hin zu bewegen. Aus ähnlichen Gründen neigen wir uns beim Besteigen eines Berges nach vorn. Trägt ein Mensch auf dem Rücken eine Last, so fällt sein Schwerpunkt mehr nach hinten, und derselbe ist daher genöthigt, sich um so mehr nach vorn zu neigen, je größer die Last ist, u. dgl. m.

Zu den allen Körpern zukommenden Eigenschaften, welche wir oben angeführt haben, gehört endlich noch die **Beweglichkeit**. Kein Körper ist in der Art an eine bestimmte Stelle des Raumes befestigt, daß eine Veränderung des Ortes, also Bewegung, für denselben unmöglich wäre. Unser eigener Erdkörper durchläuft nebst allen auf demselben befindlichen Körpern alljährlich seine Bahn um die Sonne, und selbst diese ist nicht ohne Bewegung. Nicht allein, daß sie in je $25^1/_2$ Tage sich um ihre Axe dreht, sie hat außerdem noch eine fortschreitende Bewegung im Weltraume, worüber der astronomische Theil die ausführlichere Belehrung gewähren wird. Beweglichkeit.

Die Bewegung eines Körpers ist entweder gradlinig oder krummlinig, gleichförmig oder ungleichförmig. **Gleichförmig** heißt die Bewegung, wenn ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Räume durchläuft, ungleichförmig, wenn dieses nicht stattfindet. Die ungleichförmige Bewegung ist entweder **beschleunigt** oder **verzögert**, je nachdem die Wege, welche der Körper in gleichen Zeiten zurücklegt, zu- oder abnehmen. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung bietet ein fallender, ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper dar. Das einzige Beispiel einer vollkommen gleichförmigen Bewegung, welche wir in der Natur antreffen, ist die Axendrehung der Erde (und wahrscheinlich auch die der übrigen Planeten und der Sonne).

Da wir mit unseren Sinnen die Zeit selbst nicht wahrzunehmen vermögen, wohl aber im Stande sind, die in derselben erfolgende Bewegung eines Körpers, den von diesem durchlaufenen Weg zu messen, so dient uns die gleichförmige Bewegung als Maaß der Zeit, indem bei derselben Zeit und Weg einander proportional sind. Wir beurtheilen daher die Länge der Zeit nach der Größe des Bogens, welchen die Zeiger unserer Uhren über dem Zifferblatte zurückgelegt haben. Weil aber alles Menschenwerk an Unvollkommenheiten leidet, auch die besten Uhren keinen **vollkommen** regelmäßigen Gang besitzen, so reguliren wir dieselben nach der Axendrehung der Erde, indem diese vollkommen gleichförmig erfolgt.

Legt ein bewegter Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Räume zurück, so nennt man den Weg, welchen derselbe in der Zeiteinheit, als welche man gewöhnlich eine Sekunde annimmt, durchläuft, die **Geschwindigkeit** desselben. Ein gleichförmig bewegter Körper hat während der ganzen Dauer seiner Bewegung die nehmliche Geschwindigkeit; bei einer beschleunigten oder verzögerten Bewegung nimmt die Geschwindigkeit entweder zu oder ab. Da dieselbe bei einer ungleichförmigen Bewegung, z. B. bei einem fallenden Körper in jedem Momente eine andere ist, so versteht man hier unter der Geschwindigkeit des bewegten Körpers für einen bestimmten Moment den-

jenigen Weg, welchen der Körper in einer Sekunde zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, welchen der Körper in diesem Momente hat, während der Dauer einer Sekunde unverändert derselbe bliebe. Es ist hiernach klar, daß bei einer ungleichförmigen Bewegung sich die Geschwindigkeit nicht wohl unmittelbar abmessen läßt; die Größe derselben muß vielmehr aus theoretischen Gründen erschlossen werden.

Bei einer gleichförmigen Bewegung reicht es dagegen aus, die Größe des Weges und der während der Bewegung verflossenen Zeit zu kennen. Legt z. B. ein Wanderer, welcher mit gleich bleibender Geschwindigkeit fortschreitet, eine preußische Meile*) = 24,000 rheinl. Fuß, in hundert Minuten zurück, so ist seine Geschwindigkeit für die Sekunde = 4 Fuß. Macht dagegen der Dampfwagen denselben Weg in 10 Minuten, so ist seine Geschwindigkeit = 40 Fuß. Durchfliegt eine Brieftaube diesen Weg in $3^1/_3$ Minute, so ist ihre Geschwindigkeit = 120 Fuß. Die größte Geschwindigkeit, welche wir Körpern auf der Erde zu ertheilen vermögen, ist die der Wurfgeschosse. Eine Büchsenkugel durchläuft in der Sekunde etwa 1500, eine 24=pfündige Kanonenkugel 2200 Fuß. Diese Geschwindigkeiten werden jedoch noch weit von der Geschwindigkeit übertroffen, mit welcher sich die Himmelskörper um die Sonne bewegen. Der mittlere Abstand der Erde von der Sonne beträgt ungefähr $20^1/_2$ Millionen Meilen, der Durchmesser der Erdbahn folglich 41 Millionen und die Länge dieser Bahn selbst 129 Millionen Meilen. Nun beträgt ein Jahr ($365^1/_4$ Tag) 31,557,600 Sekunden. Die Erde legt daher in einer Sekunde mehr, als 4 Meilen zurück. Die größte aller bekannten Geschwindigkeiten ist jedoch die des Lichtes, welches ohngefähr 42,000 Meilen in der Sekunde durchläuft**).

Kein ruhender Körper kommt durch sich selbst in Bewegung; es bedarf hierzu der äußeren Einwirkung irgend einer Kraft. Umgekehrt muß jeder Körper, da Beweglichkeit eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, sich fortbewegen, wenn auf denselben eine Kraft einwirkt, sofern die Bewegung nicht durch ein derselben entgegenstehendes Hinderniß gehemmt wird. Dasselbe findet im Allgemeinen auch statt, wenn auf einen Körper nicht blos eine, sondern zugleich mehrere bewegende Kräfte einwirken. In diesem Falle kann es jedoch auch geschehen, daß die Kräfte in ihren gegenseitigen Wirkungen sich vollständig aufheben, und der Körper folglich in Ruhe bleibt. Man sagt dann: die Kräfte halten sich das **Gleichgewicht**. Gleichgewicht findet z. B. offenbar statt, wenn auf einen Körper zwei genau gleiche Kräfte nach gerade entgegengesetzten Richtungen wirken. Eben so können sich auch drei und mehr auf den nehmlichen Körper wirkende Kräfte unter Bedingungen, welche wir gleich werden näher kennen lernen, das Gleichgewicht halten.

Derjenige Zweig der Physik, welcher die Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung entwickelt, führt den Namen **Mechanik**. Ein besonderer Theil derselben ist die **Statik**, welche sich ausschließlich mit den Bedingungen des Gleichgewichts beschäftigt.

*) Wir legen diese hier wegen ihrer bequemen Eintheilung zu Grunde; sie übertrifft die geographische um die geringe Größe von 358 rheinl. Fuß.

**) Die ebenfalls sehr große Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, ist noch nicht mit hinreichender Sicherheit ermittelt.

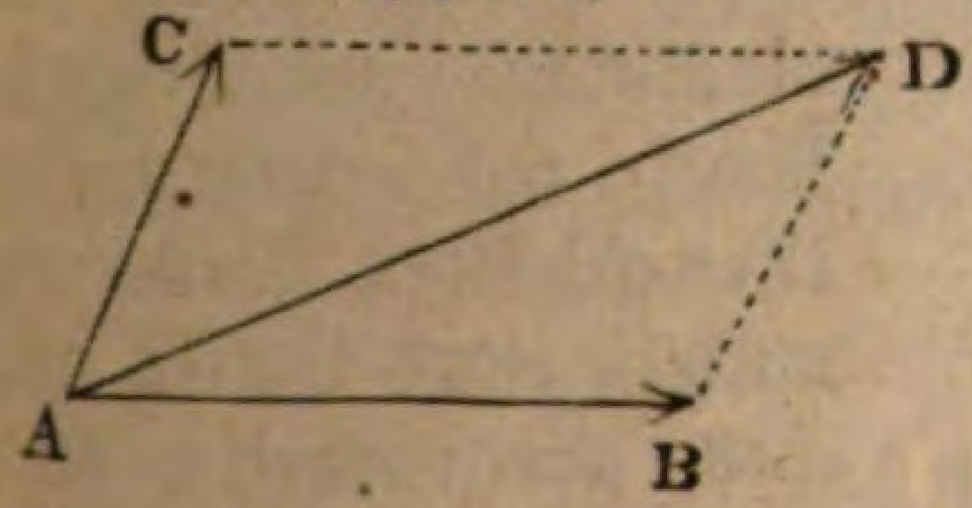
II.

Statik fester Körper.

Wenn auf dem nehmlichen Punkt eines Körpers zu gleicher Zeit zwei Kräfte in derselben Richtung wirken, so ist die hervorgebrachte Wirkung offenbar der Summe der Wirkungen gleich, welche jede der beiden Kräfte einzeln hervorzubringen im Stande ist. Denken wir uns z. B., ein Dampfschiff auf einem Flusse würde bei ruhender Maschine durch die Strömung des Flusses allein in jeder Secunde um 5 Fuß, durch die Dampfkraft in stillstehendem Wasser um 15 Fuß in jeder Secunde fortbewegt werden, so wird dasselbe, wenn beide Kräfte zugleich in der nehmlichen Richtung wirken, 20 Fuß in der Secunde zurücklegen. Um die nehmliche Wirkung hervorzubringen, würde daher eine der Summe der beiden Kräfte gleiche Kraft erforderlich sein. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

Dieß ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn die beiden Kräfte eine verschiedene Richtung haben, wenn diese Richtungen einen Winkel einschließen. Wir wollen als Beispiel wieder ein Schiff auf einem Flusse, aber ein Segelschiff annehmen. Es sei AB, Fig. 10, der Weg, welchen das Schiff in einer Secunde zurücklegen würde, wenn es lediglich der Strömung des Flusses unterworfen wäre, AC aber der Weg, durch welchen ein von der Seite wehender Wind dasselbe im stillstehenden Wasser in einer Secunde forttreiben würde. Dann wird das Schiff, wenn beide Kräfte vereinigt auf dasselbe wirken, weder den Weg AB noch den Weg AC wirklich durchlaufen, sondern eine zwischen diese Wege fallende Linie AD, welche wir erhalten, wenn wir durch B eine mit AC und durch C eine mit AB parallele Linie ziehen und den Durchschnittspunkt D mit A verbinden.

(Fig. 10.)



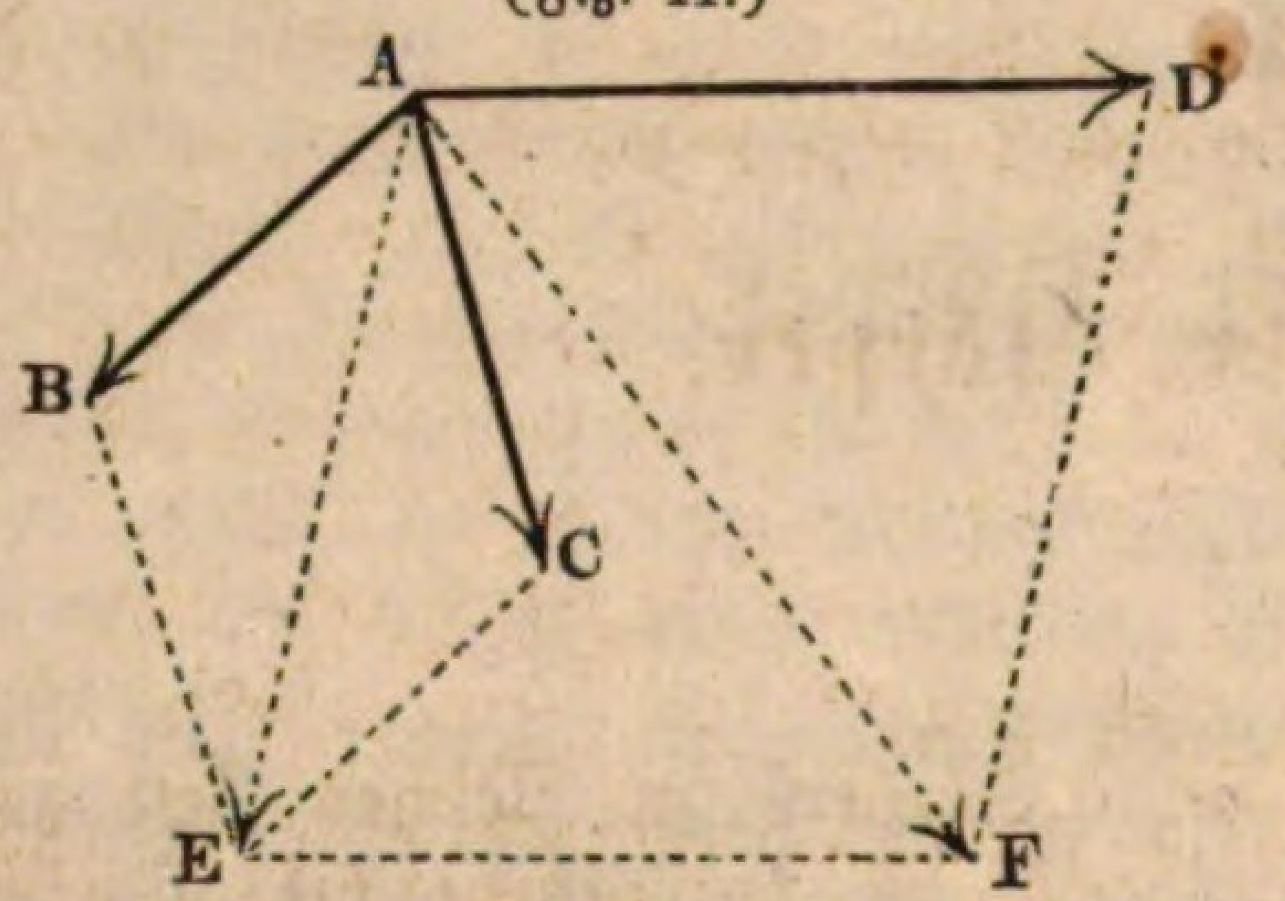
Drücken überhaupt AB und AC die Richtungen und die verhältnißmäßigen Größen zweier auf einen Punkt A wirkenden Kräfte aus, so giebt die Diagonale AD des Parallelogramms ABDC die Größe und Richtung einer Kraft an, welche die nehmliche Wirkung hervorbringt, wie die beiden Kräfte zusammen. Dieser durch seine vielfachen Anwendungen wichtige Satz der Mechanik wird der Satz vom **Parallelogramm der Kräfte** genannt. Ueberhaupt aber nennt man eine Kraft, welche dasselbe wirkt, wie zwei oder mehrere Kräfte zusammen, die **Mittelkraft** oder **resultirende Kraft**.

Die Resultirende AD zweier Kräfte AB und AC fällt offenbar um so größer aus, je kleiner der Winkel BAC ist, welchen die Seitenkräfte AB und AC einschließen; sie wird aber nur dann der Summe derselben gleich, wenn diese eine gleiche Richtung haben. Die Mittelkraft wird dagegen um so kleiner, je größer der Winkel ist, welchen die Seitenkräfte einschließen,

und sie wird ihrer Differenz gleich, wenn dieselben eine gerade entgegengesetzte Richtung haben.

Der obige Satz vom Parallelogramm der Kräfte setzt uns auch in den Stand, die Resultirende für drei und mehr Kräfte zu finden. Wirken z. B. auf einen Punkt A, Fig. 11, drei Kräfte AB, AC und AD, so verbinden wir zuerst zwei derselben AB und AC zu der Mittelkraft AE und vereinigen hierauf diese mit AD in eine Mittelkraft AF; dann ist AF die Resultirende der drei Kräfte AB, AC und AD.

(Fig. 11.)

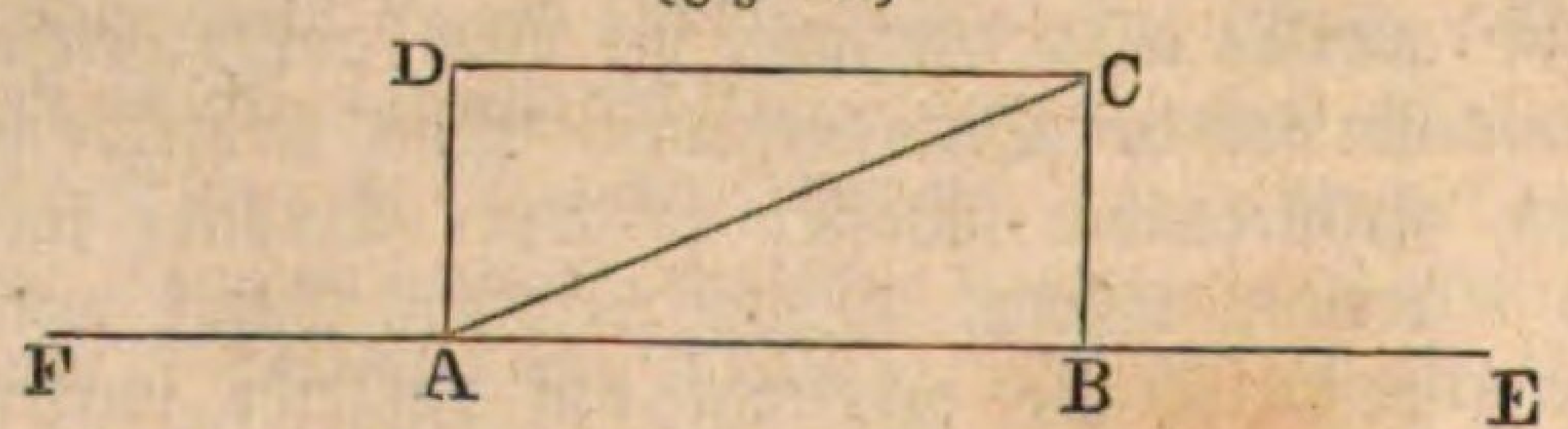


Eben so sieht man nun leicht, wie sich dasselbe für eine größere Zahl gegebener Kräfte ausführen läßt. — Ein Rammkloß wird durch die vereinte Anstrengung einer Menge Menschen, welche an Seilen ziehen, die alle eine verschiedene Richtung haben, emporgehoben. Die angegebene Construction würde uns in den Stand setzen, die Resultirende aller dieser zugleich wirkenden Kräfte zu finden.

So wie wir im Vorhergehenden zwei oder mehrere Seitenkräfte in eine Resultirende vereinigt haben, so kann man auch umgekehrt eine Mittelkraft in zwei oder mehr Seitenkräfte zerlegen. So läßt sich z. B. in Fig. 10 die Mittelkraft AD durch die Seitenkräfte AB und AC, in Fig. 11 die Mittelkraft AF durch die Seitenkräfte AB, AC und AD ersetzen.

Diese Zerlegung der Kräfte findet nicht minder nützliche Anwendungen, als die Zusammensetzung derselben. Ist z. B. AE, Fig. 12, die Richtung eines Stromes, AC aber die Richtung und Größe der Kraft, mit welcher die am Ufer gehenden Pferde vermittelst eines Seiles, welches am vorderen Ende eines Schiffes angebracht ist, dieses gegen die Strömung des Flusses voranziehen, dann ist die Kraft, wit welcher das Schiff durch den schiefen Zug AC in der Richtung des Flusses AE voran getrieben wird, nicht der vollen Größe der Kraft AC, sondern nur einem Theile derselben gleich.

(Fig. 12.)



Um diesen Theil zu finden, zerlegen wir die Kraft AC in die beiden Seitenkräfte AB und AD, von denen die erstere in die Richtung des Flusses fällt, die andere aber hierauf senkrecht ist. Wir ziehen nehmlich zu diesem Zwecke CD parallel mit AE und AD und BC senkrecht auf AE. Dann giebt AB die verhältnißmäßige Größe der Kraft an, mit welcher das Schiff durch die in schiefer Richtung wirkende Kraft AC wirklich fortgezogen wird; AD aber giebt die Größe der Kraft an, mit welcher das Schiff gegen das Ufer getrieben wird, und welche, um dieses zu verhindern, in dem Schiffe befindliche Ruderer zu überwinden haben.

Auf gleiche Weise läßt sich in allen anderen Fällen, in welchen auf einen in bestimmter Richtung AE fortzubewegenden Körper eine Kraft in schiefer Richtung AC wirkt, die wirkliche zur Anwendung kommende Kraft

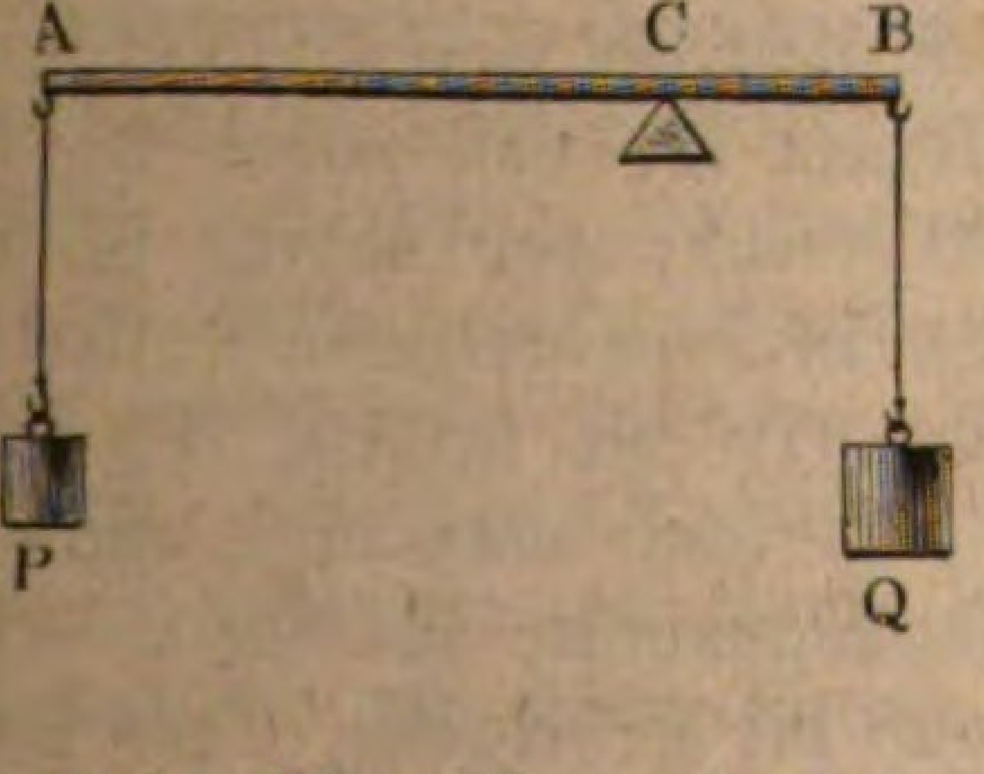
AB finden. — Man sieht leicht, daß diese um so kleiner ausfällt, je größer der Winkel CAE ist, welchen die bewegende Kraft AC mit der Richtung AE bildet, in welcher die Bewegung erfolgt.

Nach demselben Verfahren läßt sich auch der senkrechte Druck finden, welchen eine Kraft auf eine Widerstand leistende Fläche hervorbringt, wenn die Richtung, in welcher die Kraft wirkt, mit der Fläche einen schiefen Winkel bildet, indem ein Druck niemals anders als in senkrechter Richtung ausgeübt wird. Man kann auf diese Art z. B. den Druck bestimmen, welchen das Wasser auf das schief gestellte Steuerruder, der Wind auf die schief gestellten Segel eines Schiffes oder auf die Flügel einer Windmühle ausübt und dergl. mehr.

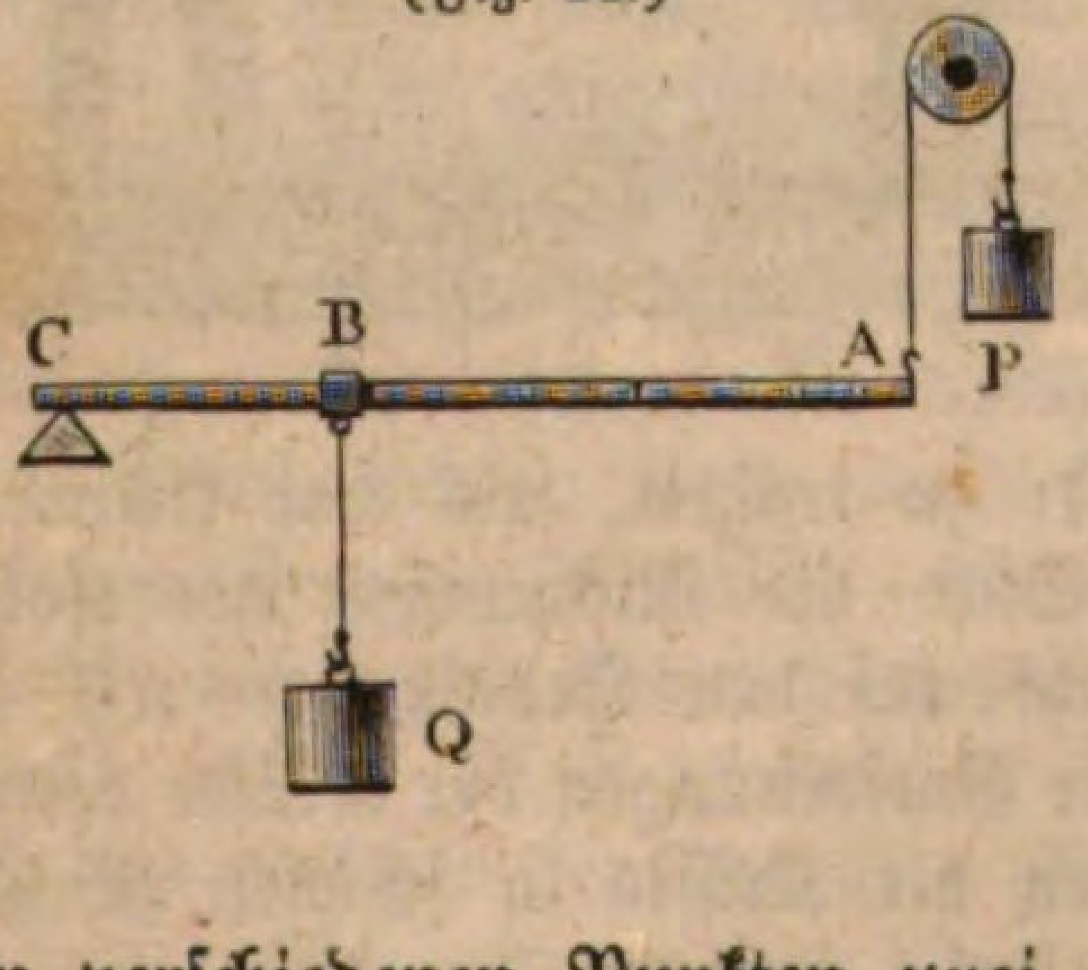
In den bisher behandelten Fällen wirkten die Kräfte unmittelbar auf den in Bewegung zu setzenden Punkt. Diese Bedingung war nur in einem gelegentlich angeführten Beispiele nicht ganz vollständig erfüllt. Wir erwähnten oben eines Rammklotzes, bei welchem eine Menge Menschen an Seilen ziehen, um dasselbe emporzuheben. Diese Seile laufen nun zwar sämmtlich in einem Punkte zusammen; dieser Punkt liegt aber nicht in dem fortzubewegenden Körper selbst, sondern an dem Ende eines Seiles, welches über eine Rolle geht und nach der emporzuhebenden Last führt. Es bedarf also hier noch einer besonderen Vorrichtung, einer Rolle, um die Wirkung der thätigen Kräfte auf den zu bewegenden Körper zu übertragen, da dieser sich nicht unmittelbar in der Richtung derselben befindet. Ueberhaupt ist wohl einleuchtend, daß eine Kraft unmittelbar nur auf einen in ihrer Richtung liegenden Punkt wirken kann. Jede Vorrichtung nun, in dem angeführten Beispiele die Rolle, vermöge deren eine Kraft auf einen Punkt, welcher sich nicht in der Richtung derselben befindet, eine Wirkung hervorbringt, führt den Namen **Maschine**. Maschine.

Die wichtigste aller Maschinen, welche zugleich die vielfachsten Anwendungen findet, ist der **Hebel**. Dieser besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer unbiegsamen Stange AB, Fig. 13 u. 14, welche um einen festen Hebel.

(Fig. 13.)



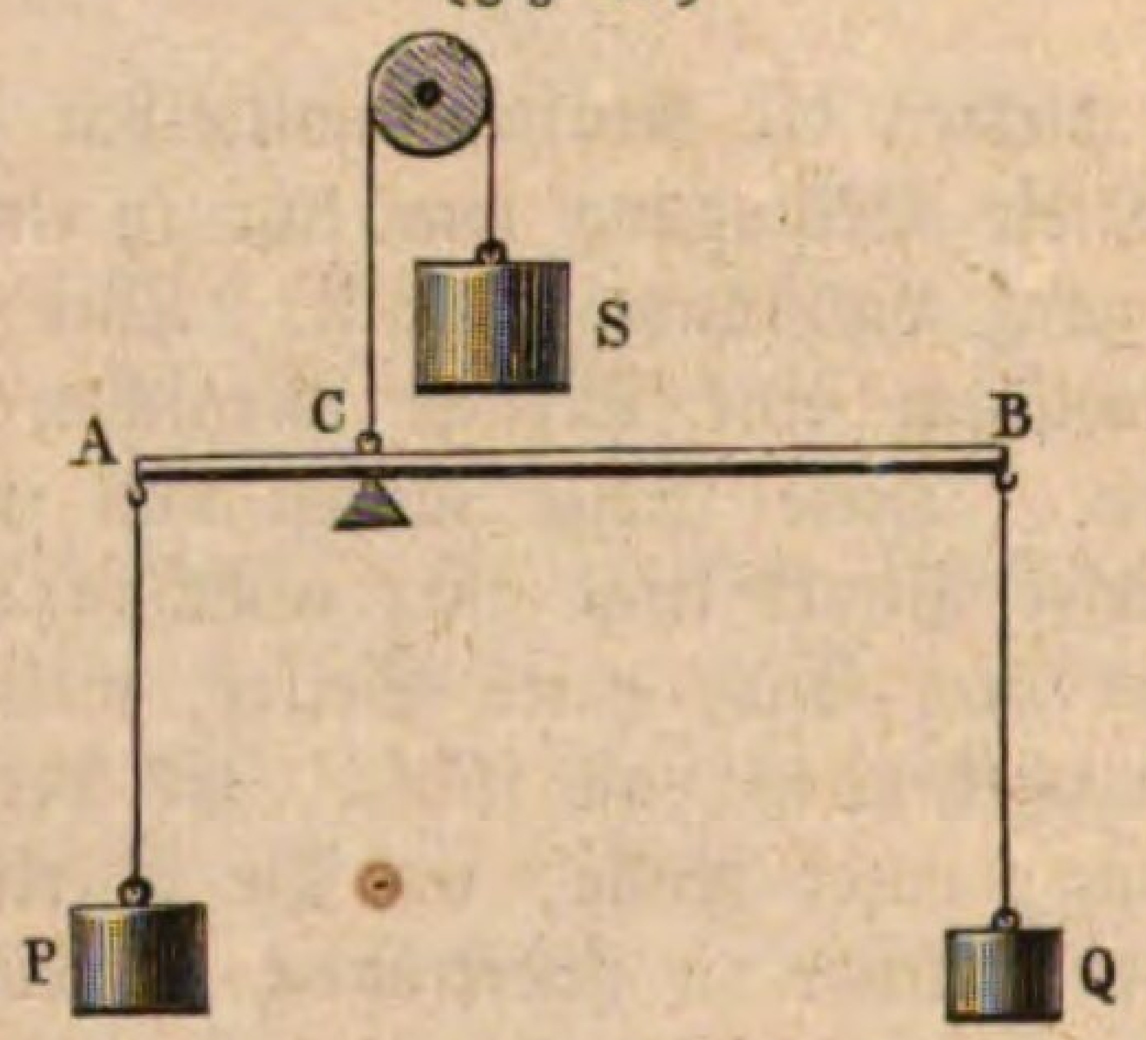
(Fig. 14.)



Punkt C drehbar ist, und an welcher in verschiedenen Punkten zwei Kräfte P und Q angebracht sind, welche den Hebel nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben. Der Hebel heißt **einarmig**, wenn, wie in Fig. 14, beide Kräfte an der nehmlichen Seite des Unterstützungspunktes angebracht sind, **zweiarmig**, wenn die Kräfte an entgegengesetzten Seiten vom Drehungspunkte, wie in Fig. 13, wirken. Man pflegt von den beiden am Hebel wirkenden Kräften die eine, als welche wir hier P annehmen wollen, vorzugsweise die **Kraft**, die andere, Q, die Last zu nennen. Haben Kraft und Last eine gleiche Entfernung vom Unterstützungspunkte, wie dieß z. B.

bei der gemeinen Wage der Fall ist, so müssen offenbar auch beide einander gleich sein, wenn sich dieselben das Gleichgewicht halten sollen. Ist dagegen der Abstand AC des Angriffspunktes A der Kraft P vom Unterstützungspunkte C dreimal so groß, als der Abstand BC des Angriffspunktes B der Last Q von dem Unterstützungspunkte C, so braucht die Kraft P, um der Last Q das Gleichgewicht zu halten, nur dem dritten Theile von dieser gleich zu sein. Ueberhaupt findet sowohl am zweiarmigen, als auch am einarmigen Hebel Gleichgewicht statt, wenn Kraft und Last sich umgekehrt wie ihre senkrechten Entfernungen vom Unterstützungspunkte verhalten.

(Fig. 15.)



Wenn an den Enden eines zweiarmigen Hebels zwei einander parallele Kräfte P und Q, Fig. 15, angebracht sind, so ist der Druck, welchen der unterstützte Punkt C erleidet, offenbar der Summe beider Kräfte P + Q gleich. Man würde daher auch die Stütze in C durch eine Kraft S, welche so groß ist, als P und Q zusammen, ersetzen können. Soll aber zwischen den drei Kräften P, Q und S Gleichgewicht vorhanden sein, so muß, dem Gesetze vom Hebel zufolge, der Angriffspunkt C der Kraft S eine solche Lage haben, daß sich die Kräfte P und Q zu einander umgekehrt wie die Abstände ihrer Angriffspunkte A und B vom Punkte C verhalten.

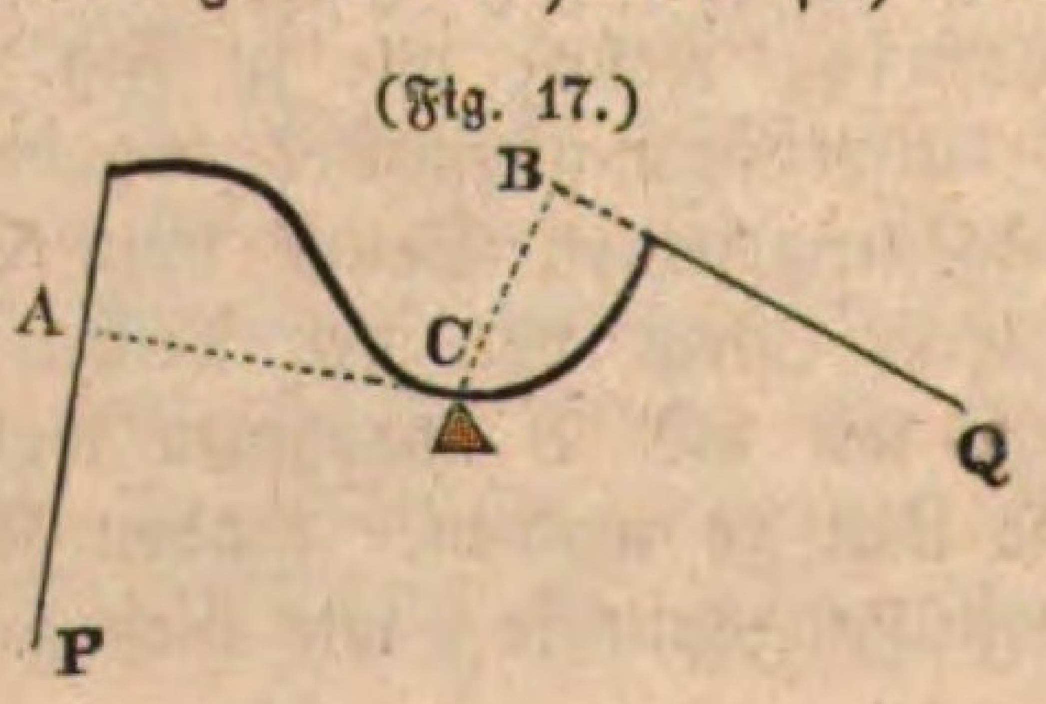
(Fig. 16.)



Wenn eine Last an einer Stange aufgehängt ist, welche an ihren Enden unterstützt ist, z. B. von zwei Menschen getragen wird, Fig. 16, so haben dieselben zusammen die ganze Last, aber sie haben nur dann gleichviel zu tragen, wenn die Last von beiden gleichweit entfernt ist. Ist dieß nicht der Fall, so hat derjenige, welchem die Last näher ist, so vielmal mehr, der andere so vielmal weniger zu tragen, als der kleinere Abstand in dem größeren enthalten ist.

Sind die Richtungen der Kräfte P und Q, wie in Fig. 13 und 14, senkrecht auf den Hebelarmen AC und BC, so kann man diese unmittelbar als die Entfernungen der Kräfte vom Unterstützungspunkte annehmen. Wirken dagegen die Kräfte in schiefen Richtungen auf die Hebelarme, oder sind diese krummlinig, wie in Fig. 17, so hat man bei Anwendung des obigen Gesetzes — am Hebel verhalten sich die Kräfte wie ihre senkrechten Abstände vom Unterstützungspunkte — die senkrechten Abstände AC und BC der Kräfte P und Q vom Drehungspunkte C abzumessen.

(Fig. 17.)

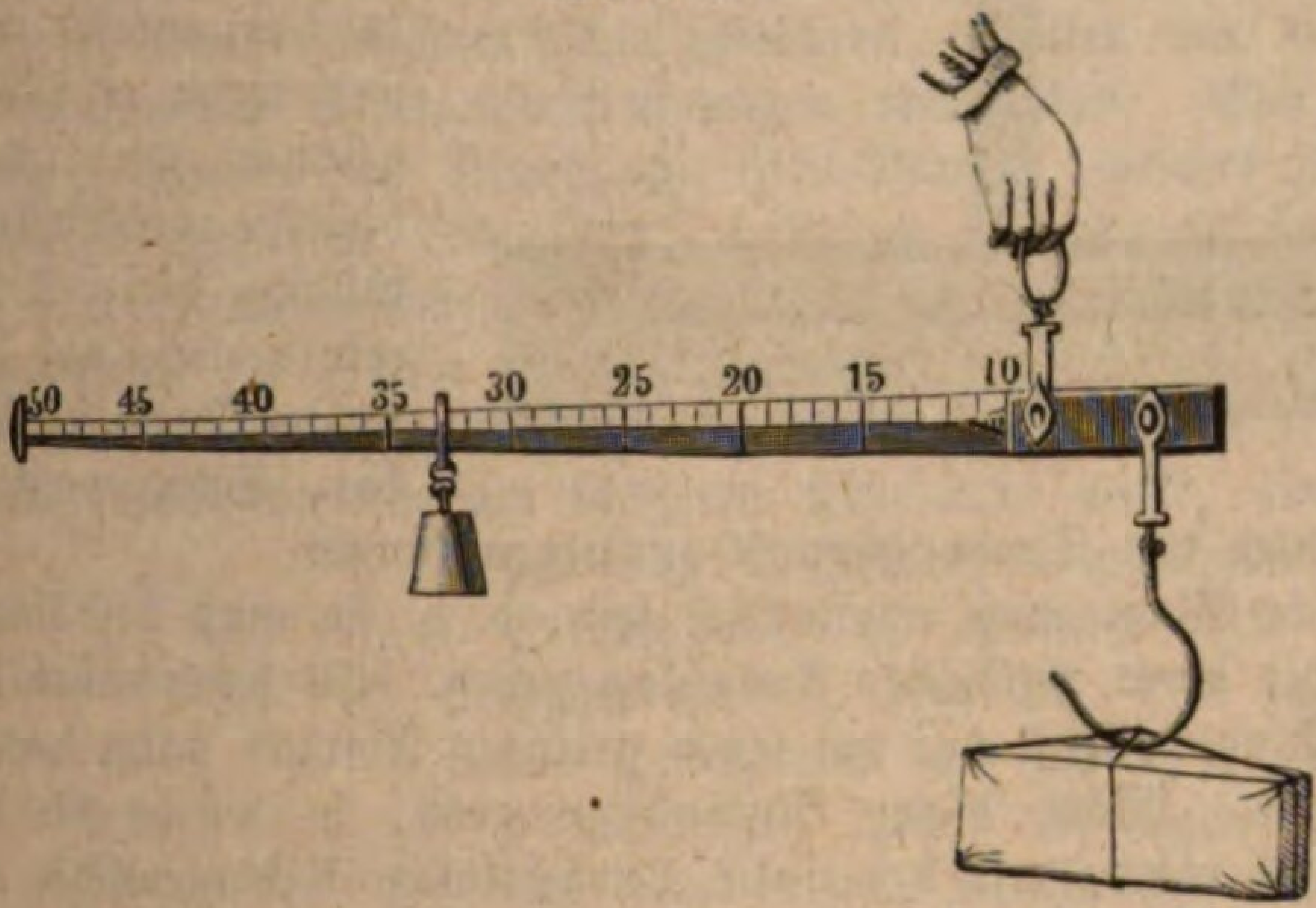


Dieses Gesetz ist eigentlich nur dann vollkommen richtig, wenn von dem eigenen Gewichte der Hebelstange abgesehen werden kann. Dieses ist z. B. dann der

Fall, wenn der Drehungspunkt und der Schwerpunkt der Hebelstange in lothrechter Linie liegen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird das obige Gesetz doch annähernd als richtig gelten, wenn man das Gewicht der Hebelstange, wie dieß bei den meisten Anwendungen des Hebels der Fall ist, als unbedeutend, vernachlässigen kann.

Von den unzähligen Anwendungen, welche der Hebel findet, führen wir zunächst die Schnellwage, Fig. 18, an. Dieselbe besteht aus einem

(Fig. 18.)

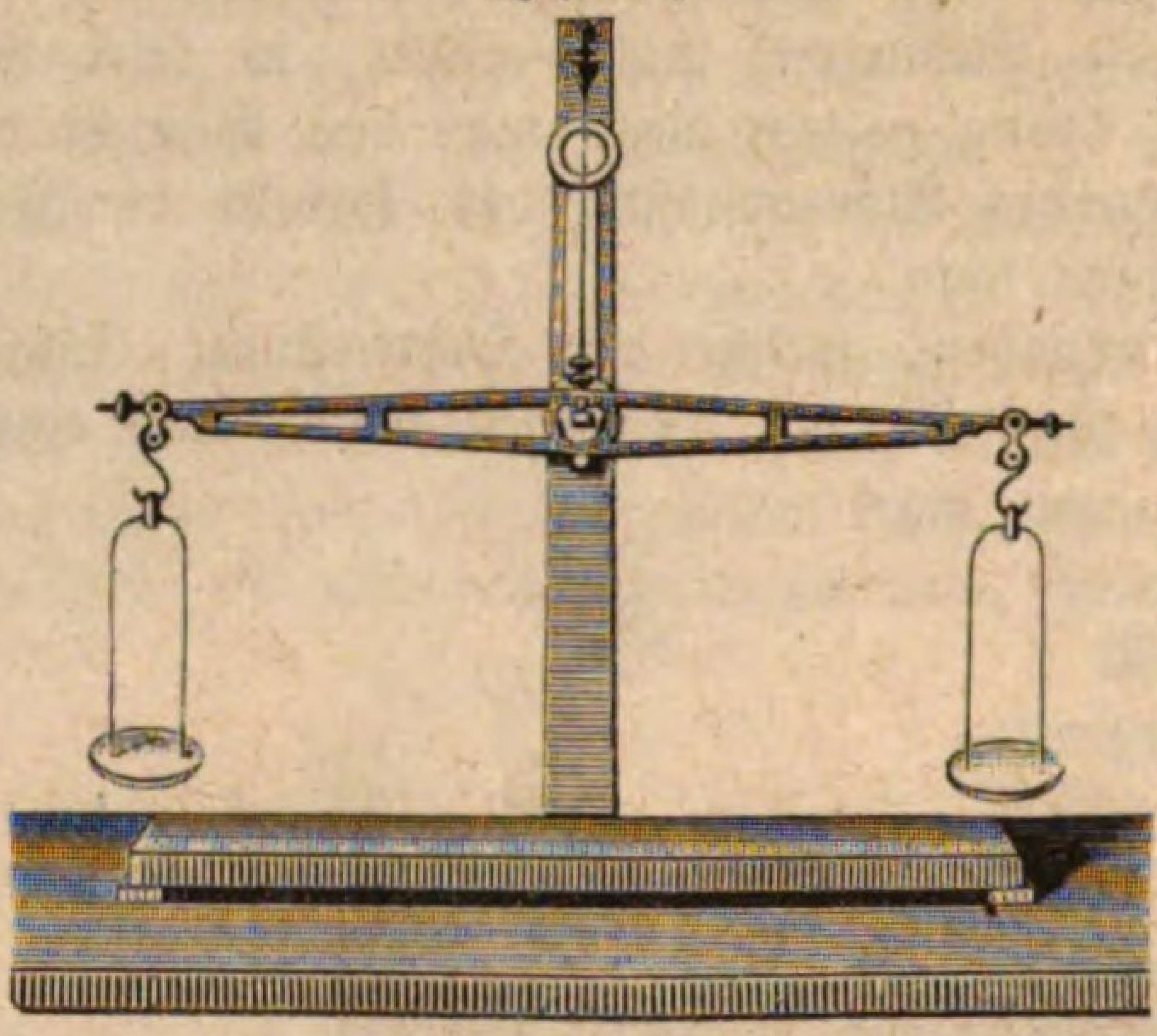


zweiarmigen Hebel, dessen Arme eine sehr ungleiche Länge haben. An dem kürzeren Arme wird die abzuwägende Last angehängt; an dem längeren Arme ist eine Scale angebracht. Diejenige Zahl der Scale, bei welcher ein verschiebbares Gewicht, der sogenannte Läufer, angehängt werden muß, um der abzuwägenden Last das Gleichgewicht zu halten, giebt an, wie viel Pfunde diese wiegt. — Andere Anwendungen des Hebels sind: die Zange, die Scheere, der Nußknacker, die Thürklinke, der Schlüssel, der Bohrer, der Hebebaum, die Heckselschneide u. dgl. m.

Bei den meisten Anwendungen, welche der Hebel findet, wird an Kraft gewonnen. Dieser Gewinn ist, zu Folge des oben aufgeführten Gesetzes, um so beträchtlicher, je geringer der Abstand der Last oder des zu überwindenden Widerstandes vom Drehungspunkte und je größer dagegen die Entfernung der Kraft von diesem Punkte ist. So wird z. B. durch eine Zange der durch unsere Hand ausgeübte Druck um so mehr verstärkt, je mehr die Länge der längeren Arme die der kürzeren übertrifft. Es giebt jedoch auch auf dem Principe des Hebels beruhende Vorrichtungen, bei welchen ein Gewinn an Kraft nicht erzielt wird. Wir wollen in dieser Hinsicht nur an die Papierscheere erinnern, bei welcher die von den Fingern unserer Hand ausgeübte Kraft einen geringeren Abstand von dem Drehungspunkte hat, als der Widerstand, welchen das zu durchschneidende Papier der Trennung seiner Theile entgegensetzt. Aber auch hier kommt das schon oben über die Bestimmung der Maschinen überhaupt Gesagte in Ausübung, daß nehmlich vermittelst derselben auf einen außerhalb der Richtung der angewendeten Kraft liegenden Punkt eine Wirkung hervorgebracht wird.

Die wichtigste Anwendung des Hebels, besonders für den Physiker, ist die gemeine Wage, Fig. 19, von welcher wir noch ausführlicher handeln wollen. Indem wir jedoch die Einrichtung derselben im Allgemeinen als Gemeine Wage.

(Fig. 19.)



bekannt voraussetzen, beschränken wir uns darauf, die Bedingungen, welche eine gute Wage zu erfüllen hat, und die zur Prüfung derselben dienende Methode anzugeben.

1) Bei ausgehängten Wagschalen muß der Wagebalken in horizontaler Lage ruhen, und wenn er aus dieser Lage gebracht wird, von selbst in dieselbe zurückkehren. Zur Erfüllung dieser Bedingung ist erforderlich, daß bei der wagrechten Lage des Wagebalkens der Schwerpunkt desselben othrecht unter den Drehungspunkt zu liegen kommt.

2) Die Wage muß empfindlich sein, d. h. sie muß bei einem geringen Uebergewichte einen merklichen Ausschlag geben. Es darf daher der Schwerpunkt des Wagebalkens nur um einen geringen Abstand unter dem Drehungspunkte liegen. Wäre dieser Abstand zu groß, so würde die Wage träge sein, d. h. sie würde erst bei einem beträchtlichen Uebergewichte einen erheblichen Ausschlag geben.

Außerdem hängt die Empfindlichkeit einer Wage ganz besonders von der Reibung am Drehungspunkte ab. Um dieselbe möglichst zu verringern, ruht der Wagebalken vermittelst einer stählernen Schneide auf einer hohlen cylinderförmigen Unterlage von Stahl oder Achat.

Man schätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach demjenigen Theil der Belastung, bei welchem dieselbe noch einen deutlichen Ausschlag giebt. Gute Wagen zeigen noch ein Uebergewicht von einem Hunderttausendstel der Belastung an; bei sehr empfindlichen Wagen, wie sie von ausgezeichneten Künstlern zum Gebrauch des Physikers angefertigt werden, beträgt dieser Theil sogar weniger als ein Milliontel der Belastung.

3) Die Wagschalen müssen ein gleiches Gewicht und ihre Aufhängepunkte gleiche Entfernung vom Unterstützungspunkte haben. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn ohne Störung des Gleichgewichtes sich die leeren Wagschalen mit einander vertauschen lassen, und wenn ferner eine abgewogene Last in der einen Schale sich mit dem Gewichte in der andern vertauschen läßt.

Die zur Abwägung dienenden Gewichte weichen in verschiedenen Ländern nicht weniger, als die gebräuchlichen Längenmaße von einander ab. Für wissenschaftliche Zwecke eignet sich auch hier wieder wegen der so bequemen Decimaleintheilung ganz besonders das französische Gewicht. Die Einheit desselben bildet das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers bei seiner größern Dichtigkeit (ohngefähr 4° C.), welches den Namen Gramm führt. Der zehnte Theil des Gramms wird Decigramm, der hundertste Centigramm, der tausendste Milligramm genannt. Tausend Gramm dagegen heißen ein Kilogramm.

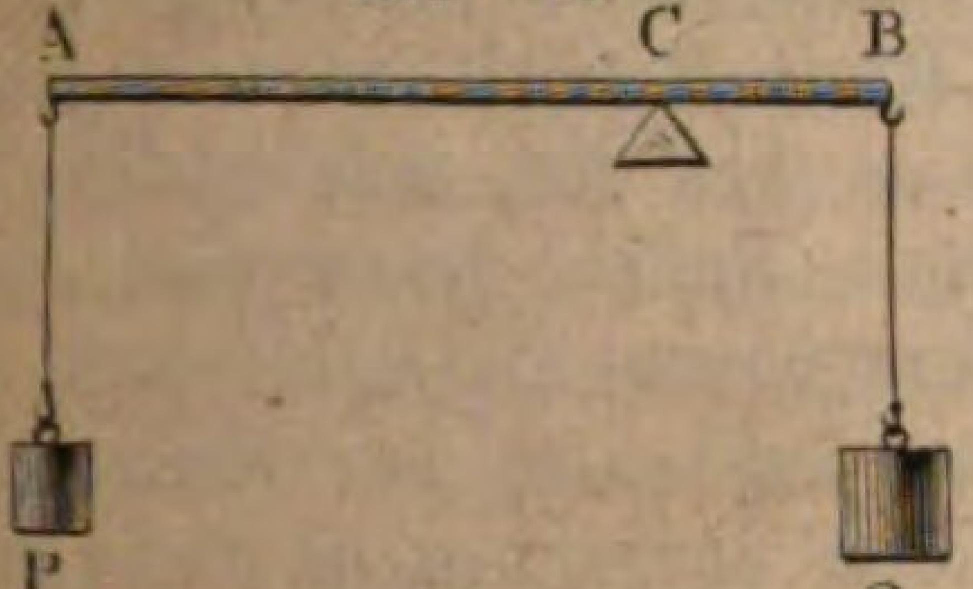
In dem bürgerlichen Verkehr bildet gewöhnlich die Gewichtseinheit das Pfund, welches jedoch in verschiedenen Ländern eine sehr verschiedene Größe hat. So ist z. B.

ein Pfund in Oesterreich und Bayern	=	560	Gramm,
„ „ in Preußen*) und den übrigen Staaten des Zollvereins	=	500	„
„ „ in England	=	454	„
„ „ in Schweden	=	425	„
„ „ in Dänemark	=	499	„
„ „ in Rußland	=	409	„

Wiewohl nun diese Pfunde erheblich von einander abweichen, so würde jedoch anderntheils das neufranzösische metrische Gewicht, da dasselbe im bürgerlichen Verkehr in den Ländern deutscher Zunge kaum im Gebrauch ist, unsern Lesern zu wenig Anschaulichkeit gewähren, wollten wir nach demselben die aufzuführenden Gewichtsbestimmungen ausdrücken. Wir werden es daher vorziehen, hierbei das Pfund von 500 Gramm, welches zwischen den oben angeführten ohngefähr das Mittel hält, zu Grunde zu legen, zumal dasselbe zu dem neufranzösischen Gewichte in einem so einfachen Verhältnisse steht, gerade gleich der Hälfte eines Kilogramms ist.

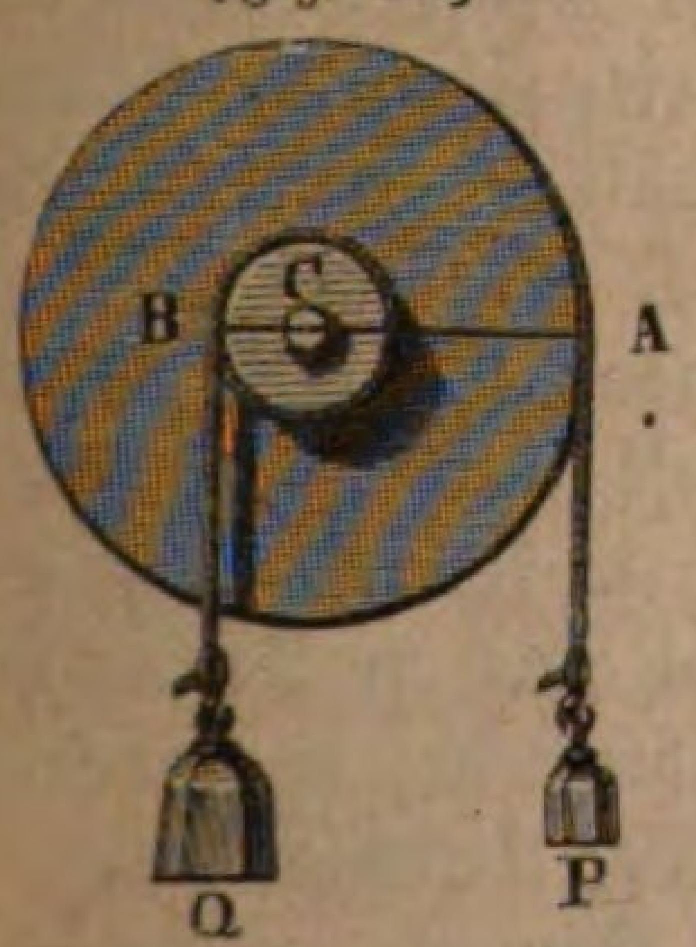
Wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, vermag beim Hebel eine kleinere Kraft, wenn dieselbe am längeren Hebelarme wirkt, einer größeren am kürzeren Hebelarme angebrachten Last das Gleichgewicht zu halten. Ist z. B. der Hebelarm BC, Fig. 20, dem dritten Theile des Hebelarmes AC gleich, so braucht auch die Kraft P, damit Gleichgewicht stattfinde, nur dem dritten Theile der Last Q gleich zu sein. Ist die Kraft nur um das Geringste größer, als dieser Theil, so erhält die Kraft P das Uebergewicht, und die Last Q steigt empor. Da jedoch der Hebelarm AC dreimal so lang ist, als der Hebelarm BC, so ist auch der von dem Endpunkte A durchlaufene Bogen dreimal so groß, als der Bogen, welchen der Endpunkt B beschreibt. Bei eintretender Bewegung durchläuft daher die Kraft einen dreimal größeren Weg, als die zu hebende Last Q. So vielmal überhaupt die Kraft kleiner ist, als die Last, eben so vielmal ist der von der Kraft zu durchlaufende Weg größer, als der Weg, durch welchen die Last fortgeführt wird, oder kurz ausgesprochen: Was einerseits an Kraft gewonnen wird, ebenso viel geht andererseits am Wege verloren.

(Fig. 20.)



Das eben ausgesprochene Prinzip gilt nicht blos vom Hebel, sondern von allen Maschinen überhaupt, wie dieselben auch immer zusammengesetzt sein mögen. Bei allen Maschinen ohne Ausnahme wird eben so viel am Wege verloren, als an Kraft gewonnen; bei keiner Maschine, wie dieselbe auch immer construirt sein mag, findet, wenn durch dieselbe Bewegung hervorgebracht werden soll, ein reiner Gewinn an Kraft statt.

(Fig. 21.)



Wir wollen nun das angeführte wichtige Prinzip auf einige häufig gebrauchte Maschinen anwenden.

Wir führen zunächst das Wellrad, Fig. 21, an. Wellrad. Dieses besteht aus einem Cylinder, auch Walze oder Welle genannt, und einem Rade, welches an dem Cylinder senkrecht zur Axe desselben befestigt ist.

*) Seit dem 1. Juli 1858.

Die Kraft P wirkt am Umfange des Rades, die zu hebende Last Q am Umfange des Cylinders. Man erkennt hiernach leicht, daß das Wellrad nur eine besondere Form des Hebels ist. Es wird daher am Wellrade Gleichgewicht vorhanden sein, wenn sich die Kraft P zur Last Q wie der Radius des Cylinders BC zum Radius des Rades AC verhält. Soll aber die Last wirklich gehoben werden, so muß, wie man leicht sieht, die Kraft einen so vielmal größeren Weg, als die Last Q durchlaufen, als wie vielmal der Radius des Rades größer ist, als der Radius der Walze.

(Fig. 22.)

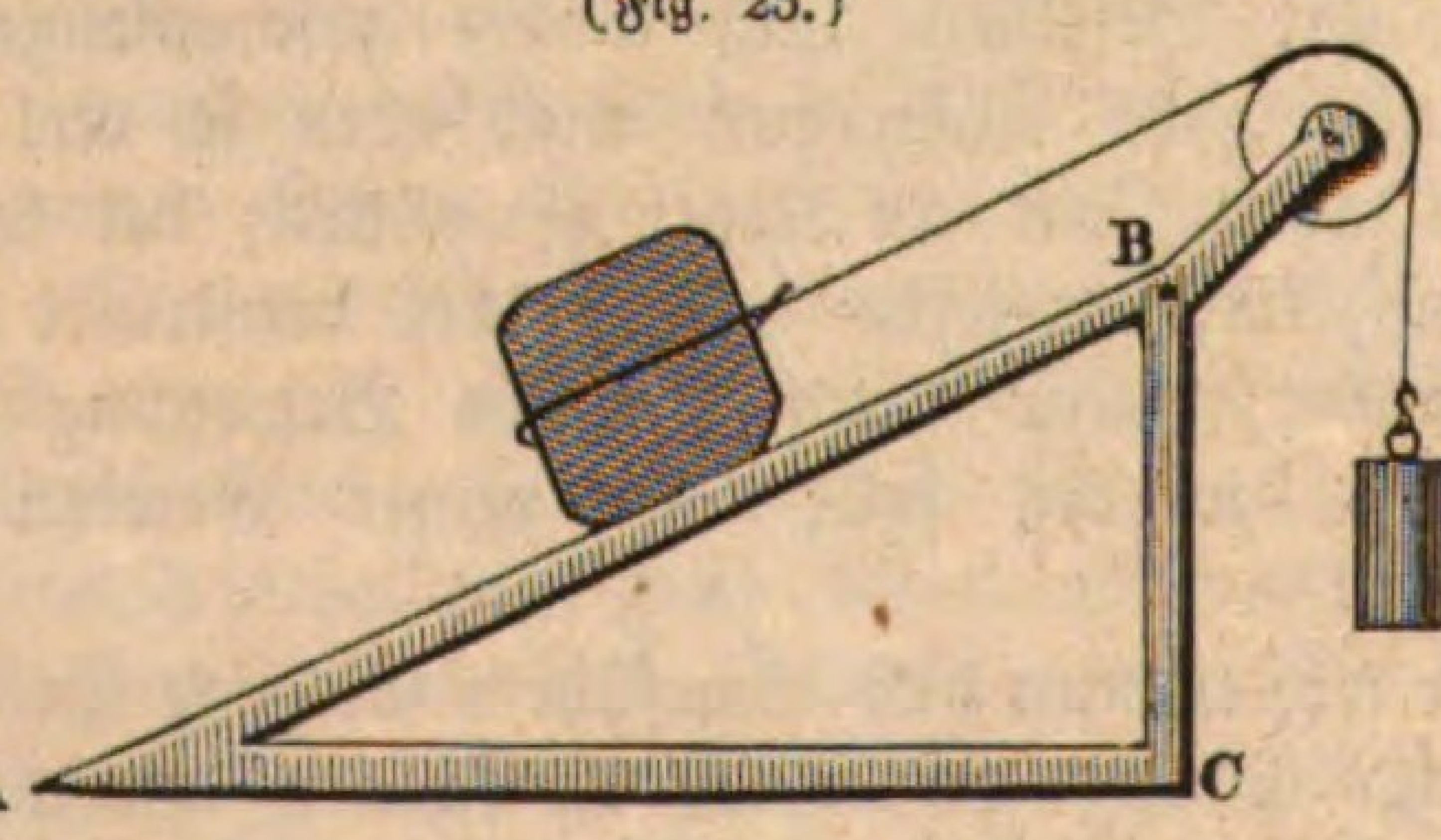


Je nach dem verschiedenen Gebrauch, welchen man von dem Wellrade macht, führt dasselbe die besonderen Namen: **Erdwinde**, **Haspel**, **Windseil** u. dgl. m.

Flaschenzug. Zum Emporziehen größerer Lasten wendet man häufig den **Flaschenzug**, Fig. 22, an. Dieser besteht aus mehreren Rollen, von denen die eine Hälfte in einer befestigten Hülse A, die andere Hälfte in einer beweglichen Hülse B angebracht ist, an deren Ende die emporzuhebende Last Q hängt. Die Kraft P wirkt an dem einen Ende eines Seiles, welches in der Art, wie dieses die Figur zeigt, um die einzelnen Rollen herum läuft und mit dem anderen Ende an der oberen Hülse befestigt ist. Sind, wie hier in der Figur, sechs nach den Rollen der unteren Hülse hinlaufende Seile vorhanden, so sieht man leicht, daß die Last Q erst dann um einen Fuß gehoben worden ist, wenn die Kraft P sechs Fuß durchlaufen hat. Es ist daher für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft dem sechsten Theile der Last gleich. Ueberhaupt wird so vielmal beim Flaschenzuge an Kraft gewonnen, als wie viel Seile vorhanden sind.

Schiefe Ebene. Wenn Lasten nur um eine geringe Höhe gehoben werden sollen, z. B. beim Beladen eines Frachtwagens mit Fässern, Kisten u. dgl., so bedient man sich häufig, um Kraft zu ersparen, der **schiefen Ebene**. Die Kraft wirkt dann am vortheilhaftesten in einer der schiefen Ebene AB, Fig. 23, parallelen Richtung. Soll die Last um die Höhe BC gehoben werden, so muß die Kraft die Länge AB der schiefen Ebene durchlaufen. Es verhält sich daher die Kraft zur Last wie die Höhe BC zur Länge AB. Der Gewinn an Kraft ist hiernach um so größer, je kleiner der Winkel ist, welchen die schiefe Ebene mit dem Horizonte bildet, und je kleiner folglich im Verhältniß zur Länge die Höhe der schiefen Ebene ist; in demselben Verhältniß muß aber auch die Kraft einen größeren Weg durchlaufen.

(Fig. 23.)



Schraube. Eine Maschine, bei welcher ein besonders großer Gewinn an Kraft erzielt wird, ist die **Schraube**, Fig. 24. Die Kraft wirkt hier gewöhnlich

(Fig. 24.)



am Ende eines Hebelarmes, durch dessen Umdrehung eine senkrecht gegen die Schraubenspindel oder Schraubenmutter drückende Last fortbewegt wird. Diese rückt um die Höhe eines Schraubenganges fort, wenn der Hebelarm einen ganzen Umlauf gemacht hat. Es verhält sich daher die Kraft zur Last wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange des Kreises, welchen bei der Umdrehung das Ende des Hebelarmes beschreibt, an welchem die Kraft angebracht ist.

Nehmen wir an, daß der Abstand zweier Schraubengänge von einander $1/2$ Zoll beträgt und der Hebelarm eine Länge von 35 Zoll hat, also der Durchmesser des von dem Endpunkte desselben bei der Umdrehung beschriebenen Kreises 70 Zoll und folglich der Umfang des Kreises 220 Zoll*) beträgt, so würde sich hieraus ein 440maliger Gewinn an Kraft ergeben. Hinter dem so berechneten Effekte bleibt jedoch die wirkliche Leistung der Schraube wegen der sehr beträchtlichen Reibung, welche die erhabenen Gänge der Schraubenspindel an den vertieften Gängen der Schraubenmutter erleiden, allemal um ein Erhebliches zurück.

Aehnliches gilt auch von allen anderen Maschinen. Der nach der angegebenen Regel bestimmte Effekt ist nur als die Grenze anzusehen, welcher sich die Leistung einer Maschine um so mehr nähern würde, wenn keine Hindernisse der Bewegung entgegenständen, und besonders keine Reibung vorhanden wäre.

Wir beschränken uns auf die angeführten Maschinen, von denen alle anderen Modifikationen oder Zusammensetzungen sind; wir brechen überhaupt von den Maschinen ganz ab, indem wir nochmals wiederholen, daß der Effekt jeder Maschine, wie dieselbe auch immer zusammengesetzt sein mag, sich nach der für alle giltigen Regel bestimmen läßt: So viel bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, eben so viel geht am Wege verloren.

*) Der Umfang eines Kreises verhält sich nehmlich zum Durchmesser ohngefähr wie 22 zu 7.

III.

Statik flüssiger Körper.

Die vorhergehenden Erörterungen über Maschinen bezogen sich lediglich auf feste Körper; sie finden keine Anwendung auf Flüssigkeiten wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theile derselben. Andererseits führt gerade diese Eigenschaft eine Menge den Flüssigkeiten eigenthümlicher Erscheinungen herbei, deren Betrachtung den Gegenstand des folgenden Kapitels bilden soll.

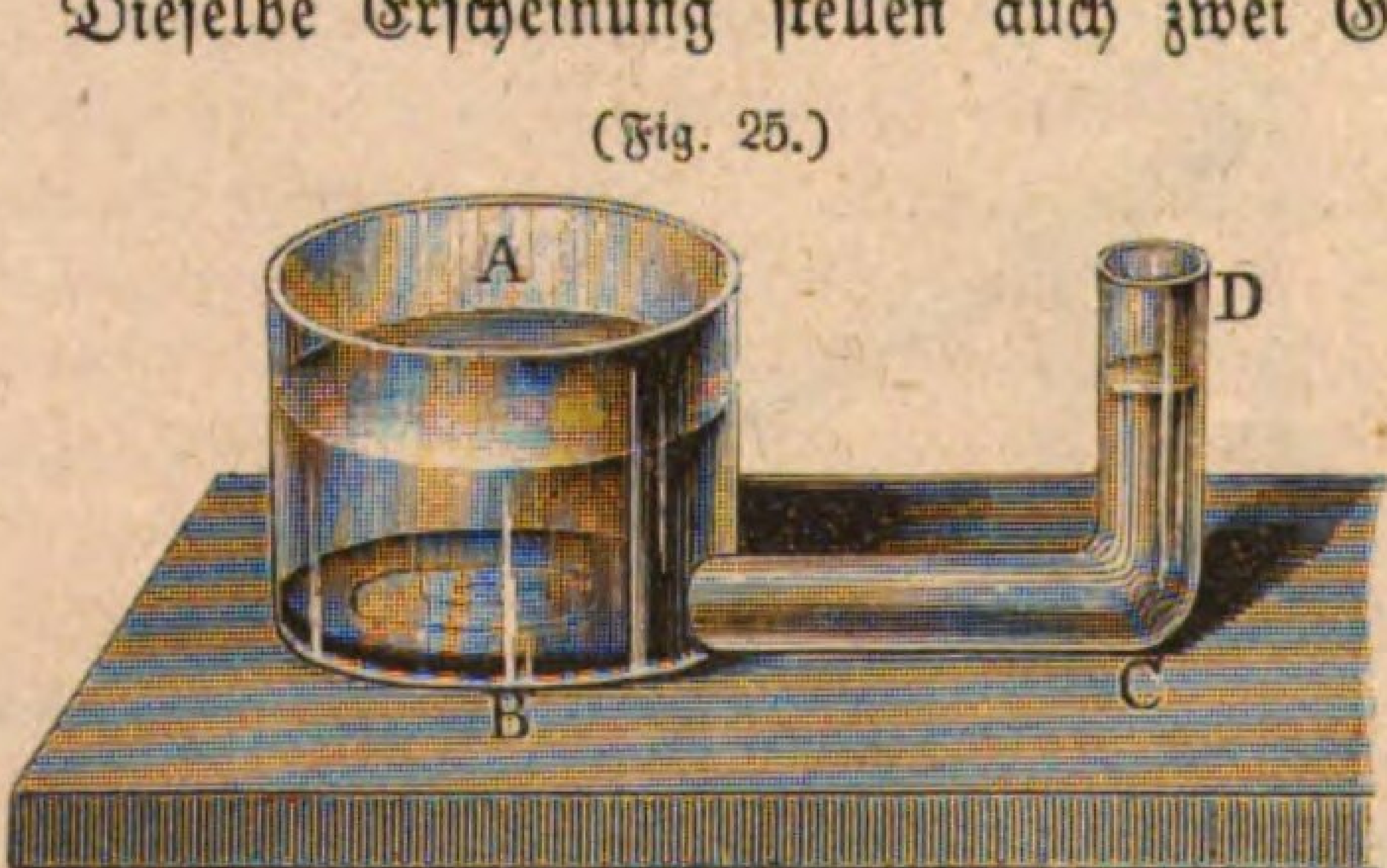
Die Flüssigkeiten weichen zunächst darin von den festen Körpern ab, daß sie keine ihnen eigenthümliche Gestalt besitzen, sondern die Gestalt des Gefäßes annehmen, von welchem sie eingeschlossen sind. Nur kleinere Flüssigkeitsmassen zeigen bekanntlich das Bestreben die Kugelform anzunehmen, sich zu Tropfen zu gestalten, wovon wir weiter unten noch ausführlicher handeln werden. Größere Massen einer Flüssigkeit dagegen haben niemals eine bestimmte Gestalt, sondern müssen in ein Gefäß eingeschlossen sein, wenn dieselben nicht aus einander fließen sollen. Nur die Oberfläche des Flüssigen ist von der Gestalt des Gefäßes unabhängig, indem dieselbe eine wagerechte Ebene darstellt. Eine Abweichung hiervon findet jedoch am Rande des Gefäßes statt. Wasser steht nehmlich in den meisten Gefäßen am Rande etwas höher, Quecksilber etwas niedriger, als in der Mitte. Auch hiervon werden wir weiter unten ausführlicher handeln.

Abgesehen von dieser Abweichung in der Nähe des Randes bildet, wie gesagt, die Oberfläche des Flüssigen allemal eine wagerechte Ebene. Der Grund dieser Erscheinung ist offenbar die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit der Theile des Flüssigen, da bei einer schief geneigten Oberfläche die oberen Theilchen über die unteren wie auf einer schiefen Ebene herabgleiten würden.

Communicirende Röhren.

Dieselbe Erscheinung stellen auch zwei Gefäße dar, welche so mit einander verbunden sind, daß die Flüssigkeit frei aus dem einen in das andere treten kann. Man giebt dergleichen Gefäßen den Namen: communicirende Röhren. Auch wenn die Schenkel derselben, wie in Fig. 25, eine sehr ungleiche Weite haben, steht doch die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch; die Oberflächen des Flüssigen in beiden Schenkeln liegen in der nehmlichen wagerechten Ebene.

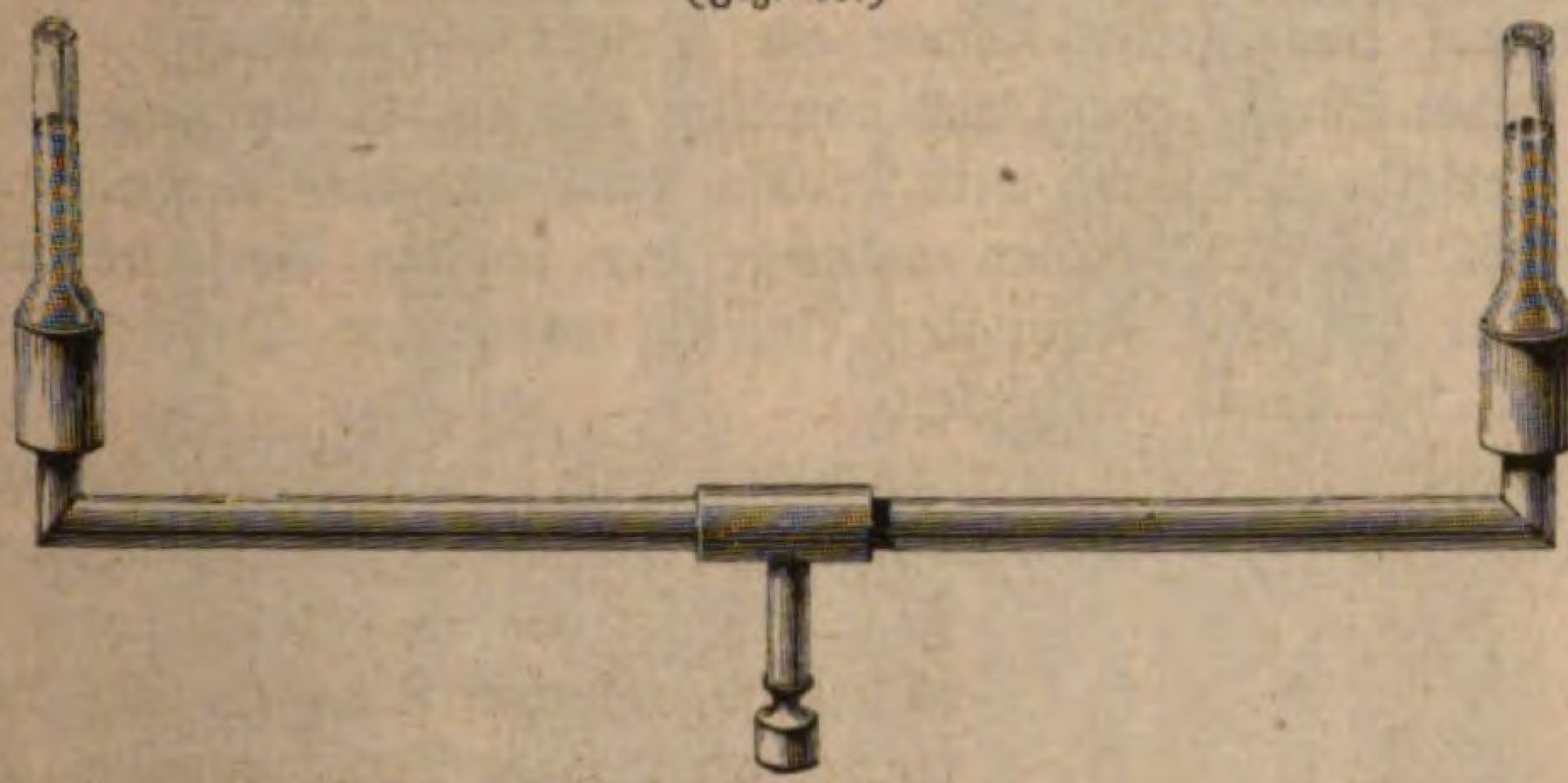
(Fig. 25.)



Dieses Prinzip findet die vielfachsten und nützlichsten Anwendungen.

Wir führen zunächst die zum Nivelliren dienende Canalwage, Fig. 26, an. Dieselbe besteht aus einer mit Wasser gefüllten blechnen Röhre, welche sich

(Fig. 26.)



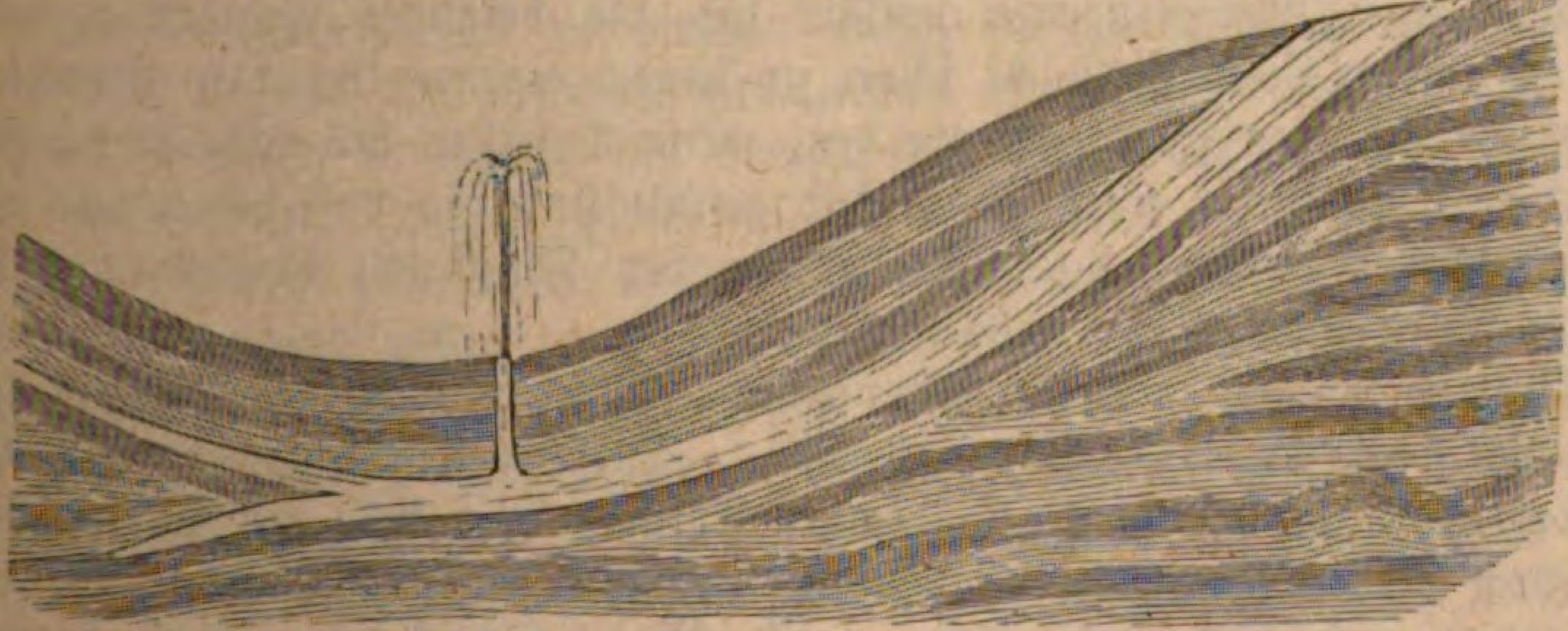
auf ein Stativ befestigen läßt und an ihren Enden zwei aufrecht stehende gläserne Röhren trägt. Nach dem Prinzip der communicirenden Röhren liegen die Oberflächen des Wassers in den beiden gläsernen Röhren allemal in einer wagerechten Linie. Visirt man daher über dieselben nach einem entfernten Punkte hin, so erkennt man, ob derselbe in gleicher Höhe, höher oder niedriger, als diese wagerechte Linie liegt.

Eine andere Anwendung des obigen Satzes bieten Wasserleitungen dar. In zusammenhängenden Röhren läßt sich das Wasser abwärts und aufwärts führen. Da jedoch dasselbe in der Röhre nicht höher steigen kann, als die Quelle liegt, aus welcher die Röhrenleitung entspringt, so dürfen auch die Punkte, nach denen dasselbe hin, oder über welche es hinweggeleitet werden soll, keine höhere Lage haben.

Wenn das Wasser in Flüssen steigt oder fällt, so pflegt das Nehmliche auch in benachbarten Teichen, Brunnen u. s. w. zu geschehen, indem das poröse Erdreich dem Wasser den Durchgang gestattet, gleichsam communicirende Röhren bildet.

Eben so beruhen hierauf die Bohrbrunnen, welche auch artesische Brunnen genannt werden, weil dieselben zuerst besonders in der Grafschaft Artois in Gebrauch gekommen sind. Unter günstigen Umständen steigt das Wasser in dem Bohrloche nicht blos bis zur Oberfläche, sondern wird häufig aus demselben bis zu beträchtlicher Höhe emporgetrieben, Fig. 27.

(Fig. 27.)



Hierzu ist erforderlich, daß eine poröse Schicht, z. B. von Sand oder zerklüftetem Gestein, von zwei wasserdichten Schichten, z. B. Lehm, Thon, Mergel u. dgl. eingeschlossen wird. Das in der porösen Schicht sich sammelnde und dieselbe erfüllende Regenwasser wird beim Niedertreiben eines

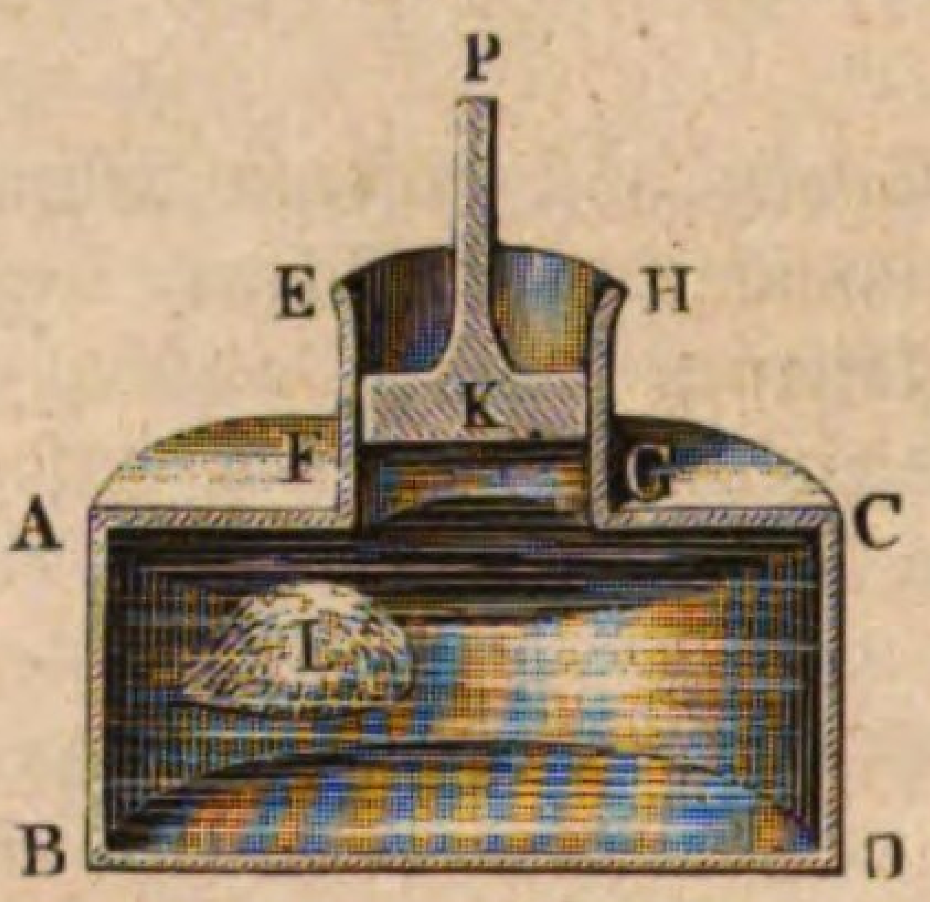
Bohrlochs im Thale sich nicht blos bis zur Oberfläche erheben, sondern in einer Röhre bis zu einer gleichen Höhe emporsteigen, bis zu welcher es die wasserhaltige Schicht erfüllt.

Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten.

Wenn auf einen festen Körper ein Druck ausgeübt wird, so kann sich durch den festen Körper der Druck natürlich nur in der Richtung fortpflanzen, in welcher derselbe ausgeübt wird. Ein ganz anderes Verhalten zeigen in dieser Hinsicht die Flüssigkeiten vermöge der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile. Jeder auf eine Flüssigkeit einseitig ausgeübte Druck verbreitet sich allseitig durch die ganze Flüssigkeit.

Zur Erläuterung dieses merkwürdigen Satzes möge Folgendes dienen. In dem engeren Halse EFGH eines weiteren, mit Wasser gefüllten Gefäßes ABDC, Fig. 28, sei ein beweglicher, aber dicht anschließender Kolben K angebracht, auf welchen eine Kraft P einen Druck ausübt. Wenn wir von der Reibung, durch welche der auf den Kolben ausgeübte Druck eine Verminderung erleidet, absehen, so erfährt jeder der Kolbenfläche gleiche Theil des Bodens wie der Seitenwände des Gefäßes einen der Kraft P gleichen Druck. So vielmal daher die Oberfläche des Kolbens in der Oberfläche des Bodens oder einer Seitenwand enthalten ist, so vielmal übertrifft der auf den ganzen Boden oder die Seitenwand ausgeübte Druck die Größe der Kraft P, mit welcher der Kolben niedergedrückt wird.

(Fig. 28.)



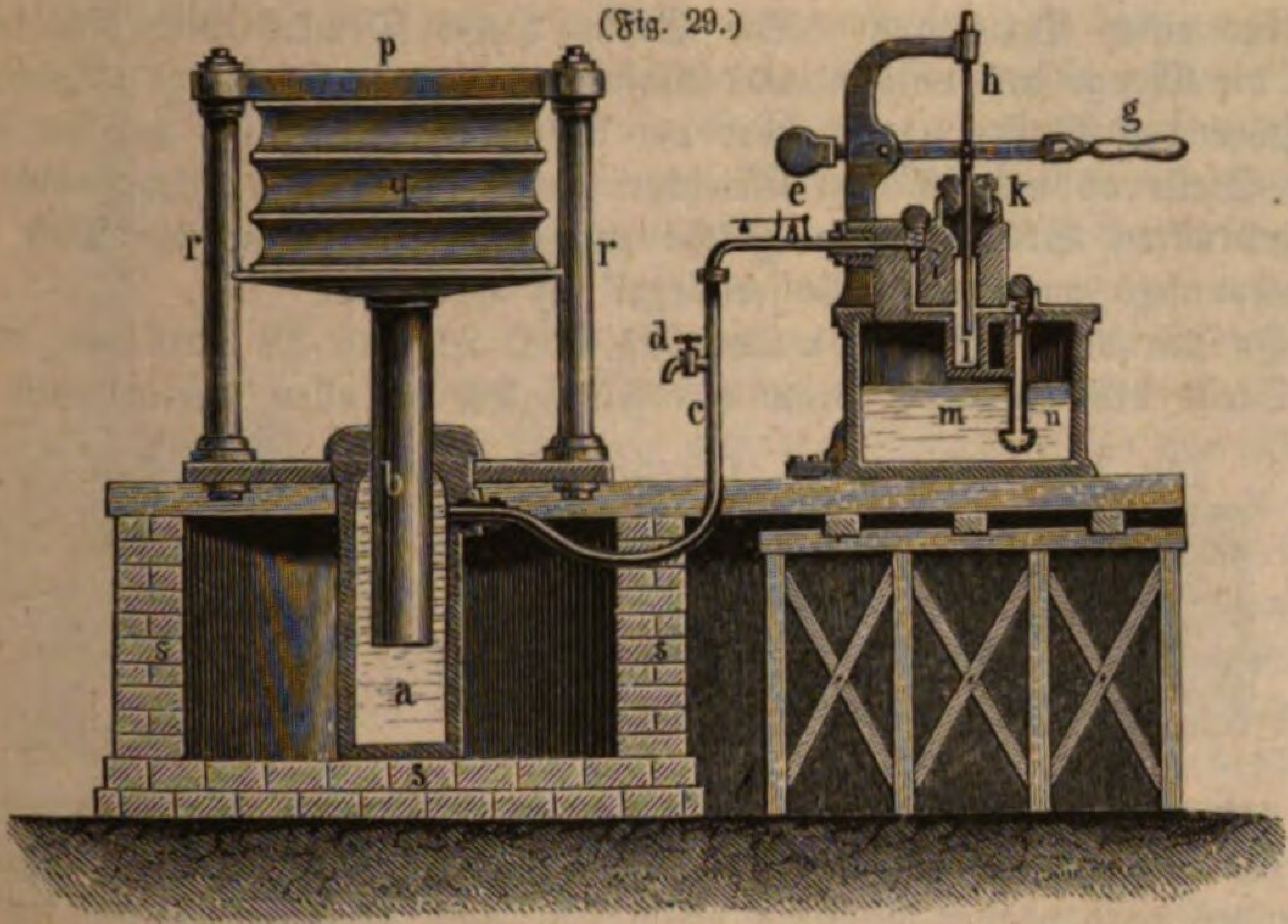
Je größer folglich die Bodenfläche und je kleiner die Kolbenfläche, um so mehr übertrifft der auf jene hervorgebrachte Druck die Größe der drückenden Kraft P. Nehmen wir aber an, daß die Bodenfläche beweglich, und daß die Kolbenfläche in derselben z. B. hundertmal enthalten wäre, so würde bei eintretender Bewegung, wenn die Bodenfläche nur den hundertsten Theil eines Zolles auswiche, der Kolben einen ganzen Zoll durchlaufen. Wir begegnen daher auch hier wieder dem für Maschinen giltigen Prinzip: Was einerseits an Kraft gewonnen wird, geht andererseits am Wege verloren.

Auch ein in dem zusammengedrückten Wasser befindlicher Körper L erleidet nach Maaßgabe seiner Oberfläche einen der angegebenen Regel entsprechenden Druck.

Aus dem Vorgetragenen erklärt sich die bekannte Erfahrung, welche mancher unserer Leser vielleicht schon zu seinem eigenen Schaden gemacht hat, daß häufig Flaschen zersprengt werden, wenn dieselben bis nahe an die Mündung des Halses mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, so daß der untere Theil des verschließenden Korkes die Oberfläche der Flüssigkeit berührt, und dann auf den Kork ein Schlag ausgeübt wird.

Eine besonders nützliche Anwendung des entwickelten Prinzips aber bietet die hydraulische Presse dar. Diese besteht aus einem weiteren Cylinder a, Fig. 29, und einem engeren Cylinder l, welche mit Wasser gefüllt und durch eine Röhre c verbunden sind. In dem engeren Cylinder wird durch einen auf den Hebelarm g ausgeübten Druck eine Kolbenstange h niedergedrückt, und indem dieser Druck sich durch die Flüssigkeit fortpflanzt, die Kolbenstange b in dem weiteren Cylinder in die Höhe getrieben und in Folge hiervon eine über derselben befindliche Last q, z. B. ein Ballen Papier, Tuch u. dgl. m. gegen eine eiserne Platte p gepreßt, welche mit den eisernen

(Fig. 29.)



Säulen rr, die auf dem Mauerwerk ss ruhen, durch Schrauben fest verbunden ist. Wird die Kolbenstange b vermittelst des Hebelarms g in die Höhe gezogen, so verhindert ein in der Verbindungsröhre bei i angebrachtes Ventil den Rücktritt des Wassers aus dem weiteren Cylinder a. Zugleich tritt durch die Steigröhre n vermöge des äußeren Luftdruckes Wasser aus dem Behälter m in den Cylinder l. Beim abermaligen Niederdrücken der Kolbenstange öffnet sich das Ventil i; dagegen schließt sich ein am oberen Ende der Steigröhre n angebrachtes Ventil. Ist durch wiederholtes Auf- und Niederdrücken der Kolbenstange h die Last q hinreichend zusammengepreßt worden, so kann durch Oeffnung des Hahnes d dem zusammengepreßten Wasser ein Abzug dargeboten werden. Endlich ist noch bei e ein Sicherheitsventil angebracht, welches sich öffnet, wenn ein zu starker Druck die Haltbarkeit der einzelnen Theile des Apparates in Gefahr bringen möchte.

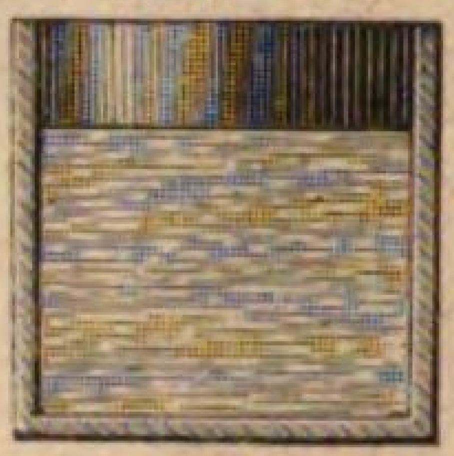
Nehmen wir an, daß der Durchmesser des kleineren Kolbens in dem des größeren 20 mal, also die Grundfläche des ersteren in der des letzteren 400 mal enthalten ist, daß ferner an dem Hebel g der Abstand der Kolbenstange vom Drehungspunkte zur ganzen Länge des Hebels sich wie 1 zu 10 verhält, und daß am Ende dieses Hebelarmes ein Arbeiter einen Druck von 100 Pfund ausübt, so ergiebt sich hieraus die Größe des auf den größeren Kolben ausgeübten Druckes gleich 400 . 10 . 100 = 400,000 Pfund = 4000 Centner; und wenn auch etwa ein Viertel dieses Druckes durch die Reibung verloren geht, so bleibt dennoch der enorme Druck von 3000 Centnern übrig. Die hydraulische Presse übertrifft in der That fast alle anderen mechanischen Vorrichtungen in der ungeheueren Größe des Gewinns an Kraft. Man benutzt dieselbe daher häufig in Fabriken zum Pressen von Tuch und Papier, ferner um die Festigkeit von Ketten, Drathseilen, eisernen Stäben zu Kettenbrücken u. dgl. m. zu erproben.

Das Vorhergehende betraf die Wirkung, welche ein äußerlich auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck hervorbringt. Aber auch, wenn ein solcher nicht vorhanden ist, übt die in einem Gefäße oder Behälter befindliche Flüssigkeit vermöge ihrer eignen Schwere auf den Boden und die Seitenwände

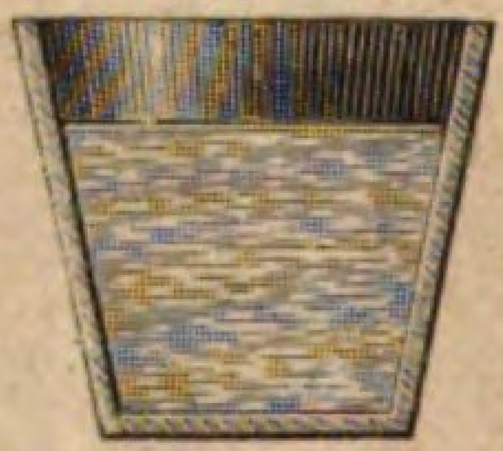
desselben einen Druck aus. Die Größe dieses Druckes wird nicht sowohl durch die Menge des vorhandenen Wassers bestimmt; sie hängt vielmehr von der Höhe des Wasserspiegels über der gedrückten Stelle und von der Größe dieser Stelle ab und ist dem Gewichte einer Wassersäule gleich, welche eine der gedrückten Stelle gleiche Fläche zur Grundfläche und die Tiefe ihres Schwerpunktes unter dem Wasserspiegel zur Höhe hat.

In den drei Gefäßen, welche Fig. 30, 31 und 32 darstellen, erleidet jede Stelle des Bodens, wenn die Flüssigkeit in allen dreien gleich hoch

(Fig. 30.)



(Fig. 31.)



(Fig. 32.)

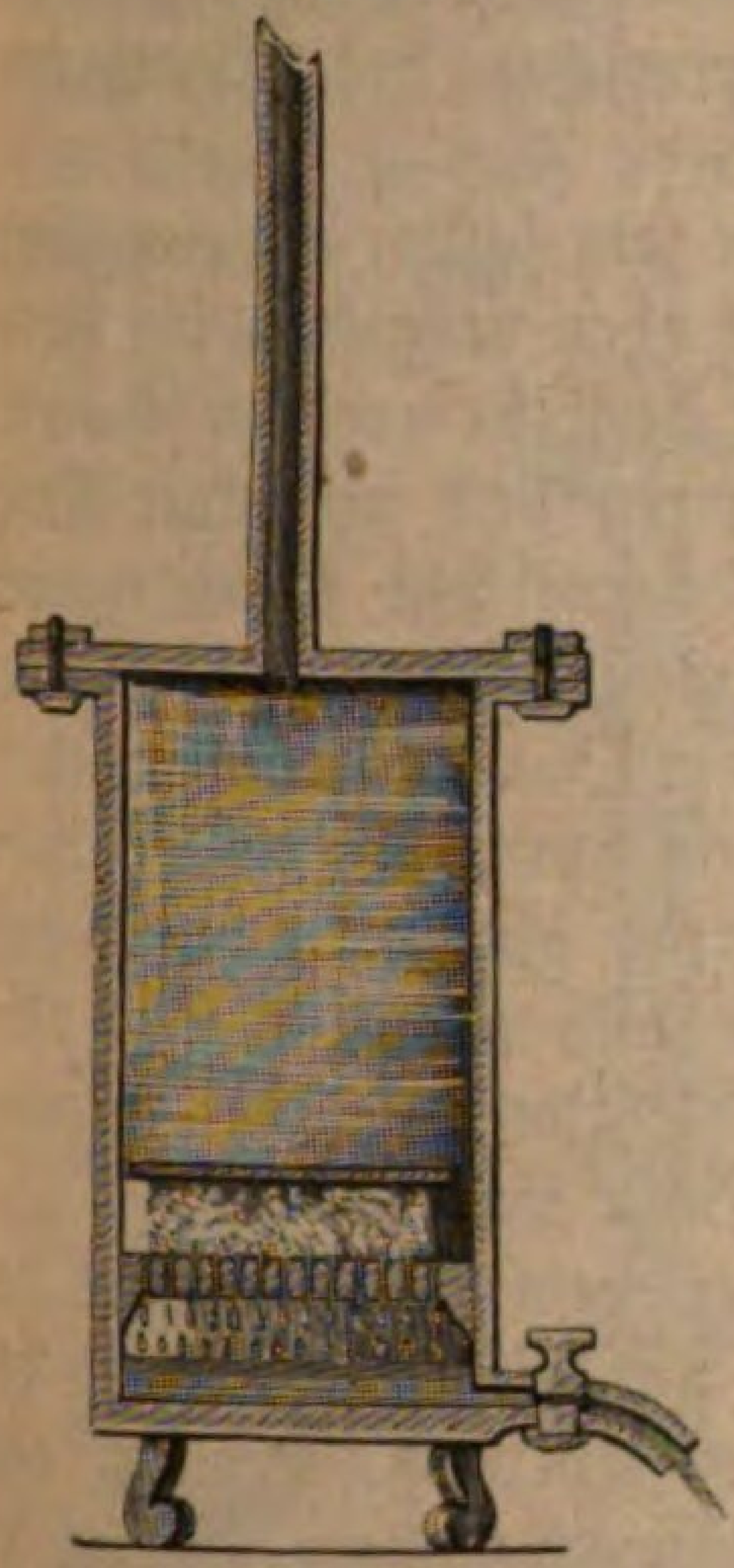


steht, einen gleichen Druck. Der gesammte Druck auf den Boden des in Fig. 30 abgebildeten Gefäßes mit senkrechten Wänden ist daher dem Gewichte des vorhandenen Wassers gleich; in dem Gefäße der Fig. 31 aber, dessen Wände sich nach oben erweitern, ist dieser Druck kleiner, als das Gewicht der vorhandenen Wassermasse, indem zugleich die schiefen Seitenwände einen Theil des vorhandenen Wassers tragen. Dagegen übertrifft in dem Gefäße der Fig. 32, dessen Wände sich nach oben verengen, der von dem Wasser auf dem Boden ausgeübte Druck das Gewicht des in dem Gefäße befindlichen Wassers. Um dieses zu verdeutlichen, betrachten wir irgend eine senkrecht unter dem Wasserspiegel liegende Stelle des Bodens ab; dann ist der Druck, welchen diese Stelle erleidet, offenbar dem Gewichte der über derselben befindlichen senkrechten Wassersäule abcd gleich; und den nehmlichen Druck wird auch an dieser Stelle die unterste Wasserschicht, welche wir so dünn annehmen wollen, daß wir das eigene Gewicht derselben unberücksichtigt lassen können, erfahren. Da aber jeder Druck, welcher auf das Wasser an irgend einer Stelle ausgeübt wird, sich in demselben gleichmäßig nach allen Seiten fortpflanzt, so muß auch jede andere ab gleiche Stelle der untersten Wasserschicht oder des Bodens einen eben so großen Druck erleiden, so daß folglich der auf den Boden in seiner ganzen Ausdehnung hervorgebrachte Druck gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über demselben zur Höhe hat.

Wiewohl nun hiernach der auf den Boden des Gefäßes der Fig. 32 von dem Wasser ausgeübte Druck das Gewicht der wirklich vorhandenen Wassermasse um ein Beträchtliches übertrifft, so erfährt doch eine dieses Gefäß tragende Unterlage keinen größeren Druck, als das Gewicht des Wassers und des Gefäßes zusammen betragen, indem der auf den Boden ausgeübte größere Druck zum Theil durch den Druck, welchen die zusammenneigenden Wände von dem Wasser aufwärts erleiden, aufgehoben wird.

Der im Vorhergehenden entwickelte Satz, daß eine Wassermasse auf den Boden des Gefäßes einen bedeutend größeren Druck, als dem Gewichte derselben entspricht, ausüben kann, findet eine nützliche Anwendung in Real's Presse, Fig. 33, bei welcher in dem oberen Boden eines weiten cylinderförmigen Gefäßes eine enge senkrechte Röhre befestigt ist. Eine auszupressende Substanz, welche sich zwischen zwei Sieben befindet, erleidet hier den nehmlichen Druck, als wenn die Wände des weiteren Cylinders bis zu der nehmlichen Höhe

(Fig. 33.)



wie die Röhre emporstiegen und bis zu gleicher Höhe wie diese mit Wasser gefüllt wären. Man benutzt diese Vorrichtung, um mit Anwendung einer geringen Menge Wasser oder einer anderen Flüssigkeit vermöge des ausgeübten starken Druckes kräftige Extracte aus Substanzen zu erhalten, welche in der Hitze eine Veränderung ihrer chemischen Zusammensetzung erfahren würden.

So wie auf den Boden, so übt das Wasser auch auf die Seitenwände des Gefäßes, in welchem es sich befindet, einen Druck aus. Sind diese überall geschlossen, so hebt der auf die gegenüberstehenden Seitenwände hervorgebrachte Druck sich gegenseitig auf. Dieses ist dagegen nicht mehr der Fall, wenn in einer Seitenwand sich eine Oeffnung befindet, durch welchen das Wasser ausfließen kann. Der Druck, welchen diese Wand vom Wasser erfährt, muß offenbar geringer sein, als der Druck, welchen die gegenüberstehende Wand erleidet, und zwar um die Größe des Drucks, welchen die offene Stelle, wenn sie geschlossen wäre, erfahren würde. Das Gefäß muß daher, wenn es frei beweglich ist, und das Wasser durch die Oeffnung ausströmt, nach der dem Ausfließen entgegengesetzten Richtung hin ausweichen.

(Fig. 34.)



Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, welche das Segner'sche Wasserrad darbietet. Dieses besteht nehmlich aus einem um eine verticale Axe drehbaren Gefäße, Fig. 34, an welchem in der Nähe des Bodens mehrere Röhren angebracht sind, die sämmtlich nach derselben Seite hin gebogen sind. Wird das Gefäß mit Wasser gefüllt, so dreht sich dasselbe beim Ausfließen des Wassers durch die Röhren nach der entgegengesetzten Seite um seine Axe. — Die sogenannten Turbinen oder horizontalen Wasserräder, auf deren Beschreibung wir jedoch hier nicht näher eingehen können, beruhen auf dem nehmlichen Prinzipe.

Prinzip des Archimedes.

Nicht blos der Boden und die Seitenwände des Gefäßes, auch jeder in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper erleidet von derselben einen Druck. Der Druck, welchen das umgebende Wasser auf die Seitenwände des eingetauchten Körpers ausübt, hebt sich gegenseitig auf. Dagegen muß der Druck, welchen die untere, tiefer liegende Seite des Körpers erleidet, offenbar den Druck, welchen die obere Seite erleidet, übertreffen und zwar um das Gewicht einer Wassermasse, welche mit dem Körper gleiche Größe hat. Ein ins Wasser eingetauchter Körper verliert daher so viel an Gewicht, als die durch ihn verdrängte Wassermasse wiegt.

Dieses wichtige Prinzip wird gewöhnlich das archimedische genannt, weil es schon einem der ausgezeichnetsten Naturforscher des Alterthums, Archimedes, bekannt war.

Wenn ein eingetauchter Körper eben so schwer sein sollte, als eine gleich große Wassermasse, so würde derselbe zu Folge des eben vorgetragenen Prinzips an jeder Stelle im Wasser ruhen können. Ist derselbe dagegen schwerer, so wird er nur einen Theil seines Gewichtes verlieren und mit einer Kraft zu Boden getrieben werden, welche dem Unterschiede zwischen seinem eigenen Gewichte und dem Gewichte der verdrängten Wassermasse gleich ist. Hat der Körper aber ein geringeres Gewicht, so wird er nach der Oberfläche hingetrieben, bis ein Theil desselben über diese hervorragt, und die durch den eingetauchten Theil verdrängte Wassermasse mit dem ganzen Körper gleiches Gewicht hat. Der Körper schwimmt dann auf dem Wasser und nimmt hierbei allemal eine solche Lage an, daß der Schwerpunkt des Körpers und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse in lothrechter Linie liegen.

Je tiefer der Schwerpunkt des Körpers unter dem Schwerpunkte der verdrängten Wassermasse liegt, um so größer ist im Allgemeinen auch die Stabilität, d. h. das Bestreben des schwimmenden Körpers, wenn er aus der angegebenen Lage gebracht wird, in dieselbe zurückzukehren. Dieß ist der Grund, warum bei den Schiffen der untere Schiffsraum mit Ballast ausgefüllt wird, um dem Schwerpunkte des Schiffes eine möglichst tiefe Lage zu geben und so die Gefahr des Umschlagens zu vermindern.

Von dem hier besprochenen natürlichen Schwimmen ist das künstliche Schwimmen verschieden, welches ins Besondere Menschen anwenden müssen, theils um den Kopf über der Oberfläche des Wassers zu erhalten, theils um sich im Wasser fortzubewegen. Bei den meisten Menschen ist das eigene Gewicht ohngefähr eben so groß oder nur um ein Geringes kleiner, als das Gewicht einer dem ganzen Körper gleichen Wassermasse. Sie müssen daher Gefahr laufen, bis über den Mund und die Nase in dieses einzusinken, wenn sie dieselben nicht durch künstliches Schwimmen über der Oberfläche des Wassers zu erhalten vermögen. Nur wenige Menschen machen hiervon eine Ausnahme; ein merkwürdiges Beispiel dieser Art war der Neapolitaner Paolo Moccia, welcher nur bis an die Mitte der Brust im Meerwasser einsank und im Jahre 1767 bei Neapel verschiedene Kunststücke ausführte.

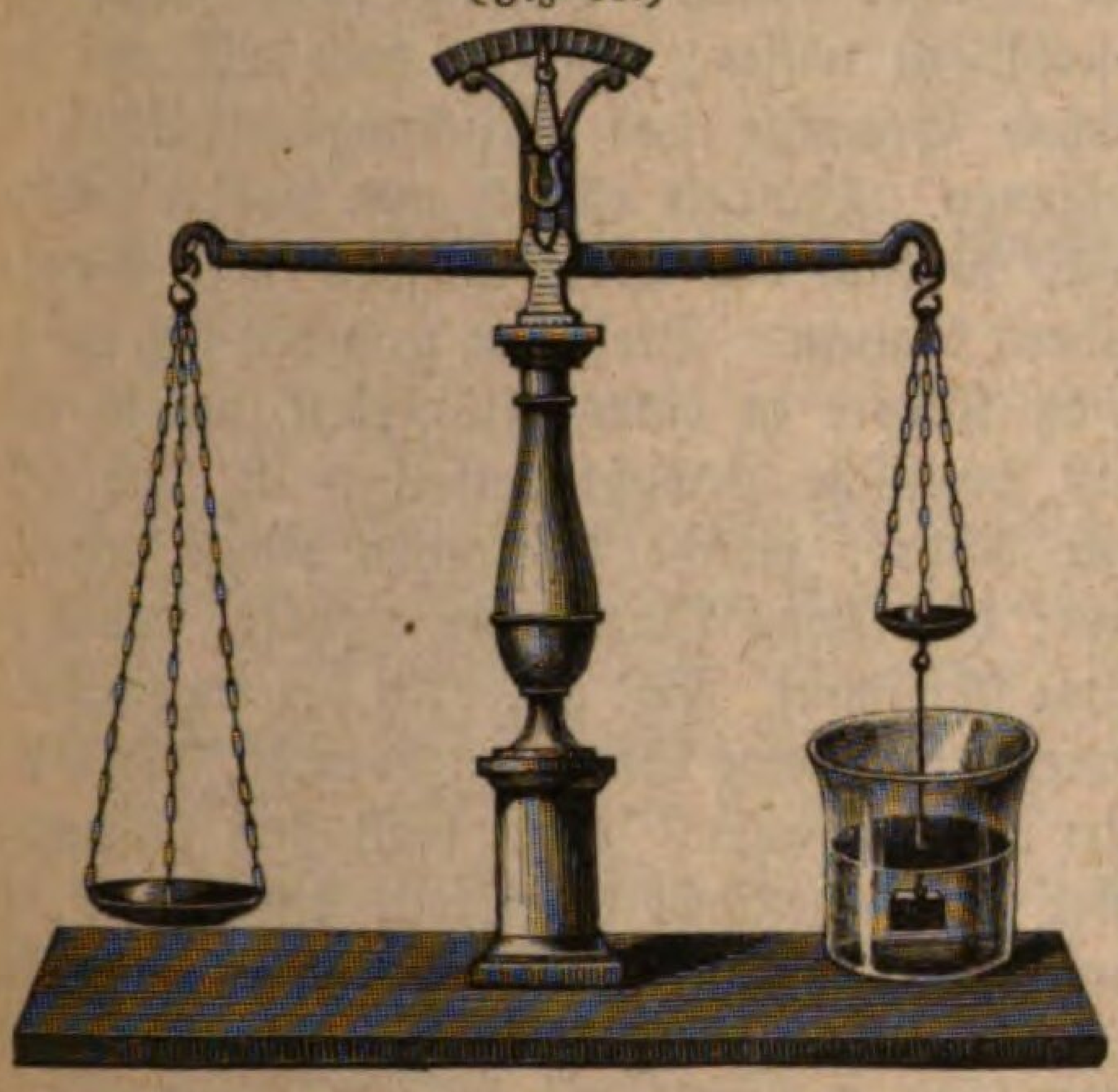
Specifisches Gewicht. Das archimedische Prinzip, daß jeder Körper im Wasser so viel an Gewicht verliert, als die durch denselben verdrängte Wassermasse wiegt, findet eine äußerst nützliche Anwendung, um Körper in Hinsicht ihrer Dichtigkeit mit einander zu vergleichen. Man pflegt bei dieser Vergleichung, wie schon oben bemerkt, das Wasser als Einheit anzunehmen, und giebt der Verhältnißzahl, welche anzeigt, wie vielmal ein Körper so schwer ist, als eine gleich große Wassermasse, den Namen: specifisches Gewicht. Wenn man z. B. sagt, das specifische Gewicht des Platins ist = 21, so versteht man darunter, daß ein Stück Platin 21mal so viel wiegt, als eine gleich große Wassermasse.

Das specifische Gewicht ist also eine bloße Verhältnißzahl; zum Unterschiede von demselben nennt man das wirkliche (nach Pfunden oder Grammen u. dgl. ausgedrückte) Gewicht eines Körpers sein absolutes Gewicht.

Zu Folge des eben Vorgetragenen kommt bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers alles darauf an, das Gewicht einer gleich großen Wassermasse zu finden, und hierzu bietet das archimedische Prinzip das ganz geeignete Mittel dar. Nachdem man nehmlich einen Körper

auf gewöhnliche Weise in der Luft abgewogen hat, befestigt man denselben vermittelst eines dünnen Fadens an der etwas höher aufgehängten Schale einer Wage, so daß derselbe in ein unter derselben aufgestelltes Gefäß mit Wasser taucht, Fig. 35, und bestimmt dann, wieviel der Körper jetzt weniger wiegt. Da dieser Gewichtsverlust im Wasser das Gewicht einer gleich großen Wassermasse anzeigt, so braucht man nur noch mit demselben in das absolute Gewicht des Körpers zu dividiren, um das gesuchte specifische Gewicht zu erhalten.

(Fig. 35.)



Wiegt z. B. ein Mineral, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, in der Luft 863 Milligramm, und verliert dasselbe im Wasser 275 Milligramm an Gewicht, so ist das specifische Gewicht desselben

$$= \frac{863}{275} = 3{,}14.$$

Ist ein Körper leichter als Wasser, so verbindet man ihn mit einem schwereren Körper, für welchen man vorher sowohl sein absolutes Gewicht, als auch den Gewichtsverlust, den er im Wasser erleidet, bestimmt hat.

Wenn ein Körper, wie z. B. Steinsalz, im Wasser löslich ist, so bestimmt man den Gewichtsverlust, welchen derselbe in einer Flüssigkeit von bekanntem specifischem Gewichte, von der er nicht aufgelöst wird, z. B. in wasserfreiem Spiritus, erleidet. So vielmal Spiritus leichter ist, als Wasser, so vielmal würde auch der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser größer, als im Spiritus sein.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten dienen die Aräometer oder Senkwagen. Man unterscheidet Aräometer mit Gewichten und Scalen. Ein Aräometer der ersteren Art besteht aus einem hohlen birnförmigen Glase, welches unten mit einer gläsernen Kugel verbunden ist, in welcher sich etwas Quecksilber befindet, damit das Instrument im Wasser mit Stabilität schwimmt, Fig. 36. Oben läuft dasselbe in einen dünnen Hals aus, welcher eine kleine Schüssel trägt, die zum Auflegen von Gewichten bestimmt ist. An dem Halse ist an irgend einer Stelle eine feine Marke angebracht. Das Instrument pflegt so regulirt zu sein, daß das Gewicht desselben und die Gewichte, welche aufgelegt werden müssen, damit dasselbe im Wasser bis an die Marke einsinkt, zusammen durch die Zahl 1000 ausgedrückt werden. Ist z. B. das Gewicht des Instrumentes = 700, so sind die zu diesem Zwecke erforderlichen Gewichte = 300.

(Fig. 36.)



Um nun mit Hilfe dieses Instruments das specifische Gewicht irgend einer Flüssigkeit, z. B. des Spiritus zu finden, senkt man dasselbe in Spiritus und legt auf das Schüsselchen so lange Gewichte, bis das Instrument bis an die Marke einsinkt. Angenommen, daß das hierzu erforderliche Gewicht = 91 ist, so ist das Gewicht der durch das Instrument beim Einsenken bis zur Marke verdrängten Spiritusmasse =

700 + 91 = 791, und da das Gewicht einer eben so großen Wassermasse = 1000 ist, so ist folglich das specifische Gewicht des Spiritus $= \frac{791}{1000} = 0{,}791$.

Bei gemischten Flüssigkeiten, wie z. B. beim Branntwein, welcher aus einer Mischung von Spiritus und Wasser besteht, verlangt man häufig nicht sowohl das specifische Gewicht selbst zu wissen; sondern man will aus dem geringeren oder größeren specifischen Gewichte das Mischungsverhältniß der beiden Bestandtheile erkennen. Handelt es sich nun hierbei nicht um die äußerste Genauigkeit, so sind die Senkwagen mit Scalen für den Gebrauch besonders bequem. Dieselben gründen sich auf den Satz, daß der nehmliche Körper in einer Flüssigkeit um so tiefer einsinkt, je geringer das specifische Gewicht derselben ist, und bestehen aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten etwas erweitert und in eine Kugel endet, die etwas Quecksilber enthält, damit das Instrument mit Stabilität schwimmt, Fig. 37. An der engen Röhre, dem Halse des Instruments, ist eine Scale angebracht, deren Eintheilung in folgender Art erhalten wird. Man senkt das Instrument zunächst in reines Wasser und bezeichnet die Stelle des Halses, bis zu welcher das Instrument in diesem einsinkt, mit Null. Hierauf taucht man das Instrument in Mischungen, welche aus 10 Theilen Spiritus und 90 Theilen Wasser, 20 Theilen Spiritus und 80 Theilen Wasser u. s. w. bestehen, und bezeichnet die Stellen, bis zu denen das Instrument in denselben einsinkt, mit den Zahlen 10, 20 u. s. w. An die Stelle aber, bis zu welcher das Instrument im wasserfreien Spiritus einsinkt, schreibt man die Zahl 100. Den Zwischenraum zwischen den so erhaltenen Abtheilungen theilt man in je 10 gleiche Theile. Sinkt dann dieses Instrument in einem zu prüfenden Branntwein bis zur Zahl 27 ein, so enthält derselbe in 100 Theilen 27 Theile Spiritus. Da man dem absolut reinen Spiritus auch den Namen Alkohol giebt, so pflegt man dergleichen Instrumente auch **Alkoholometer** zu nennen.

(Fig. 37.)



In ähnlicher Art werden **Salzspindeln** für Mischungen von Salz und Wasser, ferner **Milchwagen**, um zu untersuchen, ob die Milch durch Wasser verdünnt worden ist, verfertigt.

Von der Bestimmung des specifischen Gewichtes der luftförmigen Körper wird weiter unten gehandelt werden.

Die folgende Tabelle giebt das specifische Gewicht für einige der bekanntesten festen und flüssigen Körper:

Platin, gemünzt	22,10	Zink, gehämmert	7,86	Pappelholz	0,38
„ gegossen	20,85	„ gegossen	7,21	Kork	0,24
Gold, gehämmert	19,36	Marmor	2,84	Eis	0,93
„ gegossen	19,26	Quarz, Kalkstein, Schiefer (ohngefähr)	2,70	Schwefelsäure, concentrirte	1,85
Quecksilber	13,60	Bouteillenglas	2,64	Salpetersäure	1,50
Blei	11,44	Spiegelglas	2,45	Milch	1,03
Silber, gehämmert	10,62	Buchsbaumholz	1,33	Meerwasser	1,03
„ gegossen	10,41	Ebenholz	1,23	Leinöl	0,94
Kupfer, gehämmert	9,00	Eichenkernholz	1,17	Oliven-, Rüb-, Mohn-Oel	0,92
„ gegossen	8,79	Buchenholz, frisch	0,98	Terpentinöl	0,87
Messing	8,40	„ trocken	0,59	Alkohol	0,79
Eisen, geschmiedet	7,79	Lindenholz, frisch	0,82	Schwefeläther	0,73
„ gegossen	7,25	„ trocken	0,44		
Zinn, gegossen	7,29				

IV.

Statik luftförmiger Körper.

Die luftförmigen Körper unterscheiden sich von den flüssigen dadurch, daß sie sich leicht in einen engeren Raum zusammenpressen lassen und bei nachlassendem Drucke sich wieder ausdehnen; sie stimmen mit denselben in der Verschiebbarkeit und Schwere ihrer Theile überein.

Vermöge dieser beiden Eigenschaften übt die uns umgebende Luft auf alle in derselben befindlichen Körper einen Druck aus. Daß wir selbst diesen Druck nicht empfinden, rührt daher, daß die im Innern unseres Körpers befindliche Luft der äußeren das Gleichgewicht hält. Andererseits aber zeigt sich die Wirkung des Luftdrucks in zahllosen bekannten Erscheinungen. Wird in einer Handspritze, welche mit der Spitze unter Wasser getaucht ist, der Stempel in die Höhe gezogen, so steigt vermöge des äußeren Luftdrucks das Wasser in der Röhre in die Höhe. Es würde ungereimt sein, dieses Emporsteigen als die Folge einer von dem Kolben ausgehenden Anziehung zu erklären, da bei dem Vorhandensein der kleinsten Oeffnung in der Röhre oder im Kolben, durch welche Luft eintreten kann, aller Erfolg ausbleibt. Druck der Luft.

Auch der Folgende, leicht anzustellende Versuch giebt uns einen Beleg für das Vorhandensein des Luftdrucks:

(Fig. 38.)



Wenn man ein Glas mit Wasser füllt, dasselbe mit einem Blatt Papier, hierauf dieses mit der flachen Hand bedeckt und dann das Glas umkehrt, so kann man die Hand wegziehen, ohne daß das Wasser ausläuft, Fig. 38. Wir sehen hier äußerst deutlich, daß das Wasser durch die Luft, welche auf dasselbe drückt, getragen wird. Das Papierblatt dient nur dazu, zu verhindern, daß das Wasser und die drückende Luft sich nicht gegenseitig ausweichen, die Luft nicht in dem Wasser emporsteigen und das Wasser in der ausweichenden Luft herabsinken kann.

Wenn wir in diesem Versuche sehen, daß eine beträchtliche Wassermasse durch den Luftdruck getragen wird, so drängt sich uns die Frage nach der Grenze auf, welche die Wassermasse nicht überschreiten darf, um noch von der Luft getragen zu werden. Stellen wir den Versuch mit dem höchsten Glase, ja selbst mit der längsten Röhre, welche wir auftreiben können, an, immer wird sich der nehmliche Erfolg zeigen, die Größe des Luftdrucks wird das Gewicht der Wassersäule übertreffen; erst wenn diese eine Länge von 32 Fuß erreichte oder überstiege, würde dieses nicht mehr der Fall sein, indem der Luftdruck nur einer Wassersäule von (ohngefähr) 32 Fuß Höhe das Gleichgewicht zu halten vermag.

Wir verdanken die Kenntniß dieser Größe einem italienischen Physiker Torricelli, welcher zuerst im Jahre 1643 durch einen für die damalige Zeit äußerst wichtigen Versuch das Vorhandensein des Luftdruckes außer Zweifel setzte und zugleich die Größe desselben abmaß. Torricelli wendete zu diesem Zwecke nicht Wasser, sondern Quecksilber an. Da dieses (beinah) 14mal schwerer, als Wasser ist, so wird auch die Quecksilbersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, 14mal kürzer sein, als eine dasselbe leistende Wassersäule, und während es zu dem angegebenen Zwecke bei der Füllung mit Wasser einer mehrere dreißig Fuß langen und daher schwer zu handhabenden Röhre bedurft haben würde, genügt bei Anwendung von Quecksilber eine Röhre von etwa 30 Zoll Länge. Wenn man eine solche mit Quecksilber füllt, das obere Ende mit dem Finger schließt, hierauf die Röhre umkehrt, mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit Quecksilber taucht und dann den Finger wegzieht, so fällt das Quecksilber in der Röhre um etwa zwei Zoll und bleibt in derselben in der Höhe von (ohngefähr) 28 Zoll über dem Quecksilber in dem Gefäße stehen, Fig. 39. Auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße drückt die Luft; über dem Quecksilber in der Röhre ist ein luftleerer Raum. Der Druck, welchen die Luft auf das Quecksilber im Gefäße ausübt, ist daher eben so groß, als das Gewicht der Quecksilbersäule von 28 Zoll Länge in der Röhre, über welcher Säule sich ein luftleerer Raum befindet.

(Fig. 39.)



Barometer. Fügen wir zu dem in Fig. 39 abgebildeten Apparate, welcher sich durch den beschriebenen Versuch ergeben hat, noch eine die Höhe des Quecksilbers in der Röhre über dem Quecksilber im Gefäße messende Scale, einen in Zolle und Linien eingetheilten Maßstab, hinzu, so erhalten wir das allgemein bekannte und verbreitete Barometer, dessen eigentliche Bestimmung also darin besteht, die Größe des Luftdruckes zu messen. Ehe wir jedoch von dem Gebrauche und den Erfordernissen eines Barometers, welches zu wissenschaftlichen Beobachtungen dienen soll, handeln, wollen wir vorher noch einige aus dem Toricelli'schen Versuche sich ergebende Folgerungen ziehen.

Größe des Luftdrucks. Wie aus demselben unmittelbar hervorgeht, ist der Druck, welchen die Oberfläche eines jeden in der Luft befindlichen Körpers erleidet, dem Gewichte einer Quecksilbersäule gleich, welche diese Oberfläche zur Grundfläche und 28 Zoll zur Höhe hat. Nehmen wir als Grundfläche einen Quadratzoll an, so erfährt diese von der Luft einen Druck, welcher dem Gewichte von 28 Kubikzoll Quecksilber, d. h. dem ungefähren Gewichte von 15 Pfund gleich ist, woraus sich dann für einen Quadratfuß = 144 Quadratzoll ein Druck von mehr, als 2000 Pfund und für die Oberfläche eines erwachsenen Menschen, welche man zu ohngefähr 15 Quadratfuß annehmen kann, ein Druck von mehr als 30,000 Pfund ergiebt. Daß wir diesen ungeheuren Druck ertragen, ja sogar ohne das Geringste von demselben zu empfinden, erklärt sich, wie schon oben bemerkt, durch den Gegendruck der im Innern unsers Körpers eingeschlossenen Luft, welche sich vermöge ihrer Elasticität mit einer

eben so großen Kraft auszudehnen strebt, mit welcher dieselbe durch die äußere Luft zusammengedrückt wird, und welche ihrerseits durch dieses Streben sich auszudehnen, sehr unangenehme Erscheinungen, wenn ihr nicht der äußere Luftdruck entgegenwirkte, hervorbringen würde, wie dieß z. B. Personen erfahren, welche rasch in Luftballons emporsteigen, indem dieselben in Folge des verminderten äußern Luftdrucks einen Drang des Blutes nach Außen, besonders in den Augen und den Nasenöffnungen empfinden.

Der Luftdruck, dessen Stärke wir uns durch das Vorhergehende veranschaulicht haben, hat nicht beständig eine ganz gleiche Größe; derselbe nimmt, wie wir aus dem abwechselnden Steigen und Fallen des Barometers sehen, ab und zu. In unsern Breiten betragen diese Schwankungen etwa 2 Zoll; das Barometer sinkt zuweilen bis unter 27 Zoll und erhebt sich bis gegen 29 Zoll. Diese Schwankungen sind noch beträchtlicher in höheren Breiten, weit geringer aber in der heißen Zone, wo sie nur wenige Linien umfassen, und während sie bei uns ganz unregelmäßig erfolgen, einen periodischen Wechsel zeigen. Das Barometer steigt nehmlich dort regelmäßig von 4 Uhr Morgens bis gegen 10 Uhr Morgens, fällt dann bis gegen 4 Uhr Nachmittags, worauf es wieder bis gegen 10 Uhr Abends steigt und abermals bis 4 Uhr Morgens fällt. Schwankungen des Barometers.

Diese regelmäßigen Schwankungen des Barometers in den Tropenländern finden nach Dove in Berlin ihre Erklärung darin, daß einerseits mit der zunehmenden Tageswärme in Folge der Verdunstung der Dampfgehalt der Atmosphäre, also auch das Gewicht derselben zunimmt, zur Nachtzeit aber durch den niederfallenden Thau vermindert wird, andererseits die durch die Sonnenstrahlen am Tage erhitzte und ausgedehnte Luftsäule oben abfließt und also leichter wird, zur Nachtzeit dagegen, indem dieselbe in Folge der Abkühlung sich zusammenzieht, durch seitliches Zuströmen vermehrt und also schwerer wird. Indem nun beide Ursachen in gerade entgegengesetztem Sinne, aber nicht mit gleichbleibender, sondern mit wechselnder Stärke wirken und sowohl am Tage, als auch in der Nacht bald die eine, bald die andere überwiegt, so erreicht der Luftdruck innerhalb 24 Stunden zwei größte und zwei kleinste Werthe.

Mit dieser Regelmäßigkeit treten jedoch die Luftschwankungen nur in den tropischen Gegenden auf, wo entweder das ganze Jahr hindurch der Nord- oder Südostpassat unausgesetzt in derselben Richtung weht, oder gänzliche Windstille mit den heftigsten Stürmen, welche dann auch in dem Gange des Barometers eine plötzliche Störung hervorrufen, wechselt. In den höheren Breiten, in welchen die Luftströmungen in unregelmäßigem Wechsel bald aus der einen, bald aus der andern Himmelsgegend wehen, zeigen auch die Schwankungen des Barometers den nehmlichen unregelmäßigen Gang.

Im Allgemeinen steht bei uns das Barometer bei nördlichen und östlichen Winden, welche uns trockene, kalte und eben darum schwerere Luft zuführen, höher, als bei südlichen und westlichen Winden, welche sowohl wegen ihrer höheren Temperatur, als auch wegen ihres größeren Dampfgehaltes, da die Dämpfe leichter, als atmosphärische Luft sind, einen geringeren Druck auf das Barometer ausüben. Da nun der Regen uns mehrentheils durch südwestliche Winde zugeführt wird, während nordöstliche Winde gewöhnlich heitere Witterung bringen, so ersieht man schon hieraus einen nahen Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Witterung und den Schwankungen des Barometers. Wenn nach dem eben Gesagten beide vorzugsweise von der Richtung des Windes und dem Wechsel derselben bedingt werden, so kommt

in Betreff der Anzeige einer bevorstehenden Witterungsveränderung durch das Barometer noch der Umstand hinzu, daß sehr oft eine veränderte Luftströmung eher in den oberen, als in den unteren Regionen eintritt, und indem dieselbe bereits ihren Einfluß auf das Barometer äußert, ein Steigen oder Fallen desselben der Drehung unserer Windfahnen und dem Wechsel der Witterung vorangeht. In der That kann in den meisten Fällen das Steigen des Barometers als ein Vorbote trockener Witterung, das Fallen als ein Anzeichen bevorstehenden Regenwetters angesehen werden. Plötzliches und starkes Fallen geht gewöhnlich heftigen Stürmen voran.

Will man sich des Barometers nur bedienen, um mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die zu erwartende Witterung zu schließen, so wird hierzu auch ein mit weniger Sorgfalt und für geringen Preis zu erwerbendes Instrument ausreichen. Man wird nur darauf zu sehen haben, daß die Röhre nicht allzu eng ist, damit nicht durch zu starke Adhäsion des Quecksilbers an der Röhre die freie Beweglichkeit desselben zu sehr beeinträchtigt wird. Außerdem wird man sich weniger an die den verschiedenen Barometerständen beigedruckten Angaben über die Witterung, als vielmehr an die Regel zu halten haben, daß mit dem Steigen die Hoffnung auf freundliches, mit dem Fallen die Besorgniß vor unfreundlichem Wetter vermehrt wird.

Da bei zu- oder abnehmendem Luftdrucke offenbar alle Barometer, deren Röhre nicht zu eng ist, wie unvollkommen auch übrigens ihre Construction sein mag, steigen oder fallen müssen, so ist es natürlich eine lächerliche Ansicht, wenn jemand meint, in Beziehung auf Witterungsanzeichen ein besonders richtiges Barometer zu besitzen.

Luftleeres Barometer.

Wenn dagegen das Barometer zur genauen Abmessung des Luftdruckes, dessen Kenntniß in unzähligen Fällen für den Physiker von der äußersten Wichtigkeit ist, dienen soll, so ist das wesentlichste, aber freilich auch am schwersten zu erreichende Erforderniß eines für diese Zwecke tauglichen Barometers, daß der Raum über dem Quecksilber in der Röhre, das sogenannte Torricelli'sche Vacuum, völlig frei von Luft ist. Es genügt hierzu nicht, wie oben beschrieben, die Röhre ganz mit Quecksilber zu füllen; die Luft wird hierdurch allein nicht vollständig ausgetrieben, indem dieselbe theils den Wänden der Röhre innig adhärirt, theils auch in dem Quecksilber selbst, so wie in allen anderen Flüssigkeiten, Luft enthalten ist. Um diese gänzlich zu entfernen, muß das Quecksilber in der Röhre ausgekocht werden; ja man muß sogar bei dem nehmlichen Barometer von Zeit zu Zeit diese schwierige und gefährliche Operation wiederholen, weil das Quecksilber im Barometer allmählich wieder aus der Atmosphäre Luft aufnimmt.

So zahllos auch die Fälle sind, in denen dem Physiker bei seinen Untersuchungen eine genaue Kenntniß des Luftdruckes, also Beobachtung des Barometerstandes unentbehrlich ist, so würde doch ein näheres Eingehen hierauf theils die Grenzen der uns hier vorliegenden Aufgabe überschreiten; theils würden wir Gegenstände, welche wir erst im weitern Verlaufe unserer Untersuchungen erörtern werden, als unsern Lesern bereits bekannt voraussetzen müssen. Wir beschränken uns daher auf eine Anwendung, welche wesentlich und fast ausschließlich auf der Beobachtung des Barometers beruht, nehmlich auf das barometrische Höhenmessen.

Barometrisches Höhenmessen.

Da mit dem Emporsteigen in der Atmosphäre sich der Druck der Luft offenbar um das Gewicht der Luftsäule, um welche wir gestiegen sind, vermindert, so muß folglich auch das Barometer um die Länge einer Quecksil-

bersäule fallen, welche mit jener Luftsäule ein gleiches Gewicht hat. Nun ist die Luft an der Erdoberfläche ohngefähr 10,500 mal leichter, als Quecksilber. Das Quecksilber im Barometer wird folglich um eine Linie fallen müssen, wenn wir uns in der Luft um 10,500 Linien oder ohngefähr um 73 Fuß erheben; und wir werden daher umgekehrt schließen können, daß ein erhöhter Standpunkt um 73 Fuß sich über dem Fußboden befindet, wenn an jenem das Barometer um eine Linie niedriger, als an diesem steht. Hat man bereits eine Höhe von 73 Fuß erreicht, so reicht es jetzt nicht aus, abermals 73 Fuß zu steigen, wenn das Barometer wieder eine Linie fallen soll; man wird sich vielmehr, da die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, jetzt um mehr als 73 Fuß erheben müssen. — Wollte man überhaupt, um die Höhe, um welche man gestiegen ist, in Fußen zu erhalten, 73 Fuß mit der Zahl der Linien, um welche das Barometer gefallen ist, multipliciren, so würde man eine zu kleine Zahl für die gesuchte Höhe erhalten.

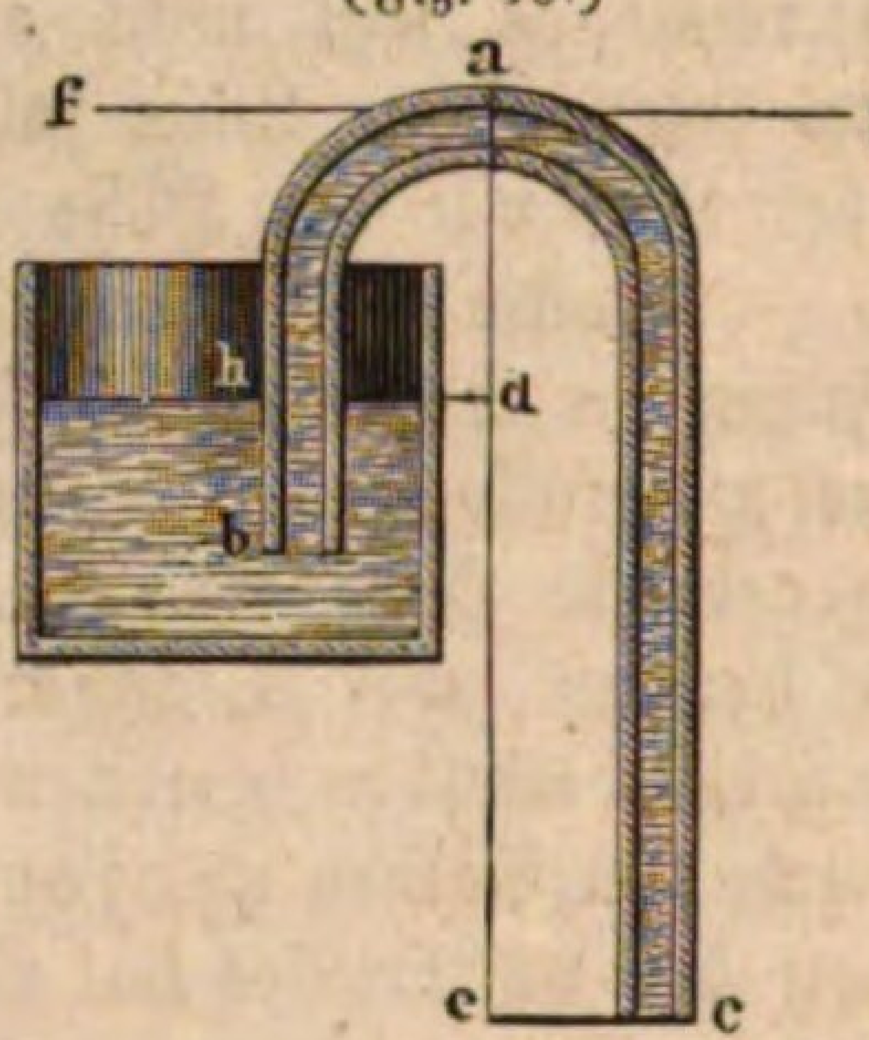
Um mit Leichtigkeit aus der Verschiedenheit der an zwei Standorten beobachteten Barometerstände den Unterschied in der Höhe derselben herleiten zu können, sind besondere Tabellen berechnet worden, welche den Namen hypsometrische Tabellen führen. — Außer der Ungleichheit des Luftdruckes hat man jedoch beim barometrischen Höhenmessen auch noch die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu berücksichtigen, indem warme Luft natürlich leichter, als kalte, und eben so feuchte Luft leichter, als trockene ist.

Das barometrische Höhenmessen hat vor dem direkten Nivellement oder der trigonometrischen Messung den Vorzug, daß sich dasselbe so leicht und mit geringem Zeitaufwande ausführen läßt. Andererseits gewährt, zumal ein einziges Paar zu gleicher Zeit an zwei Orten angestellter Barometerbeobachtungen nur einen geringen Grad von Zuverlässigkeit. Um sicherere Resultate zu erhalten, sind zahlreiche und längere Zeit hindurch zur gleichen Tagesstunde an beiden zu vergleichenden Orten angestellte Beobachtungen erforderlich, um so die zufälligen Ungleichheiten, welche an einzelnen Tagen in dem Zustande der über beiden Orten lagernden Atmosphäre durch Luftströmungen oder andere Umstände herbeigeführt werden, zu beseitigen. Beobachtungen an sehr windigen Tagen oder an solchen Tagen, an denen das Barometer unregelmäßige Schwankungen macht, sind von der Rechnung ganz auszuschließen. Das aus einem einzigen Paar correspondirender Beobachtungen gewonnene Resultat wird, wenn die Umstände für diese günstig waren, nicht leicht um mehr, als 10 Fuß für je Tausend von der Wahrheit abweichen. Besonders für den noch unerforschte Gebirge bereisenden Naturforscher bildet das Barometer einen wichtigen und unentbehrlichen Begleiter.

Von den so mannigfaltigen auf dem Luftdrucke beruhenden Erscheinungen bietet eine der überraschendsten der Heber dar, welcher aus einer wie ein U gebogenen Röhre besteht. Wird dieselbe mit Wasser gefüllt, dann mit dem kürzeren Schenkel in ein Gefäß mit Wasser getaucht und hierauf der längere Schenkel geöffnet, so fließt das Wasser durch denselben so lange aus, als der kürzere Schenkel ins Wasser taucht. Der Heber gewährt so das ungewöhnliche Schauspiel eines sich aufwärts bewegenden Wasserstromes, ohne daß die Kraft sichtbar wäre, durch welche diese Bewegung hervorgebracht wird. Die Höhe jedoch, zu welcher das Wasser im Heber gehoben werden kann, darf 32 Fuß, d. h. die Länge einer Wassersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag, nicht übersteigen. Denn der Druck der Luft ist es, welcher das Wasser im Heber emportreibt. Gekrümmter Heber.

Indem nehmlich die Luft sowohl auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäße, als auch auf die äußere Oeffnung drückt, pflanzt sich dieser beiderseitige Druck, welcher bekanntlich dem Gewichte einer Wassersäule von 32 Fuß Höhe gleich ist, auch durch die Flüssigkeit im Innern des Hebers fort. Indem aber das Gewicht der Flüssigkeit diesem Drucke entgegenwirkt, ist der Druck, welchen z. B. ein Wassertheilchen oben bei a, Fig. 40, vermöge des auf die Oberfläche des Wassers im Gefäße ausgeübten Luftdruckes erfährt, und mit dem dasselbe also in der Richtung ag fortgetrieben wird, nur noch gleich dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe

(Fig. 40.)



32 Fuß weniger ad.

Dasselbe Wassertheilchen wird aber auch in der entgegengesetzten Richtung af vermöge des auf die äußere Oeffnung ausgeübten Luftdrucks mit einer Kraft fortgetrieben, welche gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe

32 Fuß weniger ae.

Die erstere Kraft übertrifft aber die letztere um das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe de, d. h. einer Wassersäule, welche die Tiefe der äußeren Oeffnung unter dem Wasserspiegel zur Höhe hat. Da nun das Nehmliche offenbar eben so für jedes an einer beliebigen anderen Stelle im Heber befindliche Wassertheilchen gilt, so strömt die Flüssigkeit aus dem äußern Schenkel des Hebers mit einer der Größe der angezeigten Kraft entsprechenden Geschwindigkeit, also mit einer um so größeren Geschwindigkeit aus, je tiefer die Mündung des äußeren Schenkels unter dem Wasserspiegel im Gefäße liegt. Ist der äußere Schenkel kürzer, als der innere, so hört das Wasser auf, durch den Heber auszufließen, sobald dasselbe im Gefäße bis in gleiche Höhe mit der Mündung des äußern Schenkels gesunken ist.

Man macht von dem Heber nützlichen Gebrauch, um Flüssigkeiten aus feststehenden Gefäßen in andere überzuleiten.

Gesetz des Mariotte.

Ehe wir von anderen Erscheinungen, welche hauptsächlich auf dem Drucke der Luft, also auf der Schwere derselben beruhen, handeln, haben wir uns noch vorher mit einer zweiten Eigenschaft, nehmlich mit der Elasticität der Luft und dem Gesetze, von welchem die Größe derselben abhängt, näher bekannt zu machen. Bekanntlich ist die Luft im höchsten Grade elastisch; sie wird bei zunehmendem Drucke in einen engern Raum zusammengepreßt und dehnt sich bei nachlassendem Drucke wieder aus. Boyle in England hat zuerst 1660 gezeigt, daß das Volumen der Luft in dem nehmlichen Verhältnisse sich vermindert, in welchem der ausgeübte Druck vermehrt wird, daß also bei zwei-, drei-, viermal so starkem Drucke die Luft in einem zwei-, drei-, viermal engern Raum zusammengepreßt wird. Dieses Gesetz, welches gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz genannt wird, weil Mariotte in Frankreich vorzüglich durch seine Schriften die Kenntniß desselben verbreitet hat, verliert aber bei sehr starkem Drucke, wie Natterer und Redtenbacher in neuerer Zeit gezeigt haben, seine Giltigkeit und gilt nach Regnault auch bei mäßigerem Drucke nicht mit mathematischer Genauigkeit. Die Abweichungen sind jedoch selbst bis zu einem Drucke von 20 Atmosphären so gering, daß wir noch immer mit Boyle und Mariotte das Gesetz:

die Elasticität der Luft wächst in gleichem Verhältnisse mit ihrer Dichtigkeit,

für die hier zu erörternden Erscheinungen festhalten können.

Wir führen unter diesen zunächst an:

Das Athmen, bei welchem durch Zusammenziehung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet und daher ihre Elasticität vermehrt wird, so daß dieselbe jetzt über die äußere Luft das Uebergewicht erhält und durch die Luftröhre ausströmt, während bei Erweiterung des Brustkastens und der Lungen die Luft in diesen verdünnt wird, so das jetzt die äußere Luft das Uebergewicht erhält und in die Lungen einströmt.

Ferner das Trinken und Saugen, bei welchem ebenfalls durch Ausdehnung der Lungen die Lüft in diesen und in der Mundhöhle verdünnt wird, in Folge dessen die mit den Lippen in unmittelbarer Berührung gebrachte oder durch ein Röhrchen verbundene Flüssigkeit, da sie nun von der äußeren Luft einen stärkeren Druck erleidet, in den Mund eintritt und über den Kehldeckel durch die Speiseröhre in den Magen gelangt.

(Fig. 41.)



Eine sehr einfache, auf dem Mariotte'schen Gesetze berurende Vorrichtung ist der Stechheber, Fig. 41. Dieser besteht aus einer oben bauchig erweiterten, unten in eine feine Spitze auslaufenden Röhre. Taucht man den oben offenen Heber in eine Flüssigkeit, so steigt dieselbe in dem Heber zu der nehmlichen Höhe wie im Gefäße empor, und die Flüssigkeit behält diesen Stand bei, wenn man die Oeffnung mit dem Finger verschließt, weil die in dem Heber über der Flüssigkeit befindliche Luft mit der äußeren gleiche Dichtigkeit, also auch gleiche Elasticität hat. Zieht man jetzt bei verschlossener oberer Oeffnung den Heber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt von der in dem Heber befindlichen Flüssigkeit nur ein kleiner Theil aus. Durch dieses Ausfließen wird nehmlich die Luft über der Flüssigkeit in dem Heber verdünnt, also ihre Elasticität vermindert; und das Ausfließen muß daher aufhören, wenn die Luft so stark verdünnt ist, daß der Druck der verdünnten Luft und der eingeschlossenen Flüssigkeit zusammen dem Drucke der äußeren Luft das Gleichgewicht halten. Das Ausfließen wiederholt sich, wenn der Finger von der oberen Oeffnung entfernt wird; indem nehmlich die Luft dann mit gleicher Stärke von oben und unten auf die Flüssigkeit drückt, muß diese vermöge ihrer Schwere durch die untere Oeffnung ausströmen. Stechheber.

Ein wesentliches Erforderniß des Stechhebers besteht darin, daß die untere Oeffnung so eng ist, daß die Luft und die Flüssigkeit sich nicht gegenseitig ausweichen können.

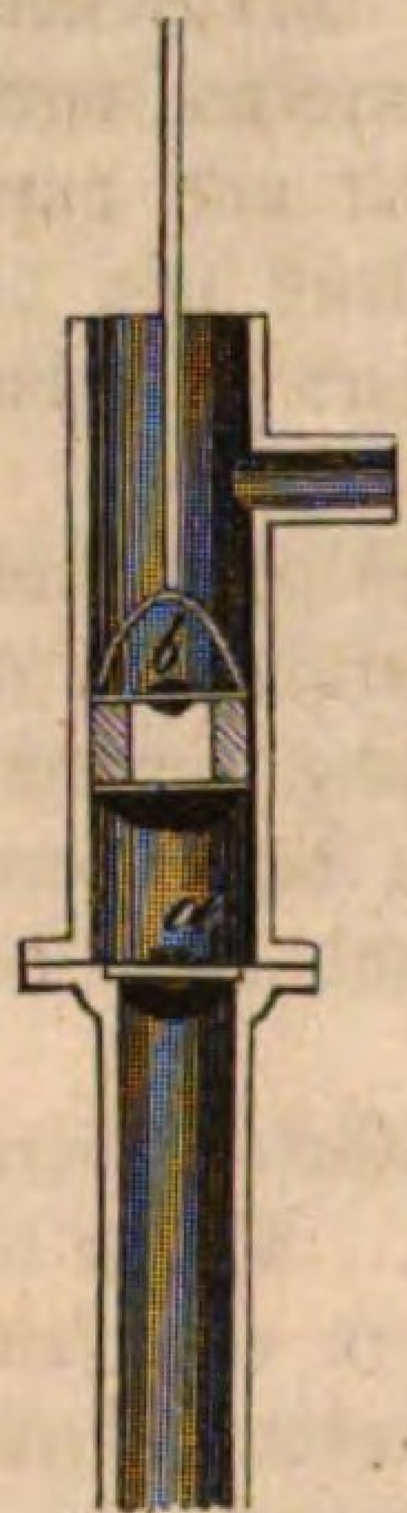
Wäre die Oeffnung zu weit, so würden durch dieselbe Luftblasen eintreten und in der Flüssigkeit emporsteigen; hierdurch würde die Luft über dieser schon für sich allein mit der äußeren ins Gleichgewicht treten und daher auch bei geschlossener oberer Oeffnung die Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere durch die untere Oeffnung abfließen.

Ist dagegen die Oeffnung hinreichend eng, so daß durch dieselbe keine Luftblasen neben der Flüssigkeit eindringen können, so strömt die Flüssigkeit nur dann in einem ununterbrochenen Strahle durch die untere Oeffnung aus, wenn die obere Mündung geöffnet ist.

Zu dem nehmlichen Zwecke wird an einem Fasse, welches man abzapfen will, der Spund geöffnet; in den Deckeln der Thee- und Kaffeekannen, der Oelbehälter an Lampen ist eine kleine Oeffnung angebracht u. dgl. m.

Saug- und Druckpumpe.

(Fig. 42.)

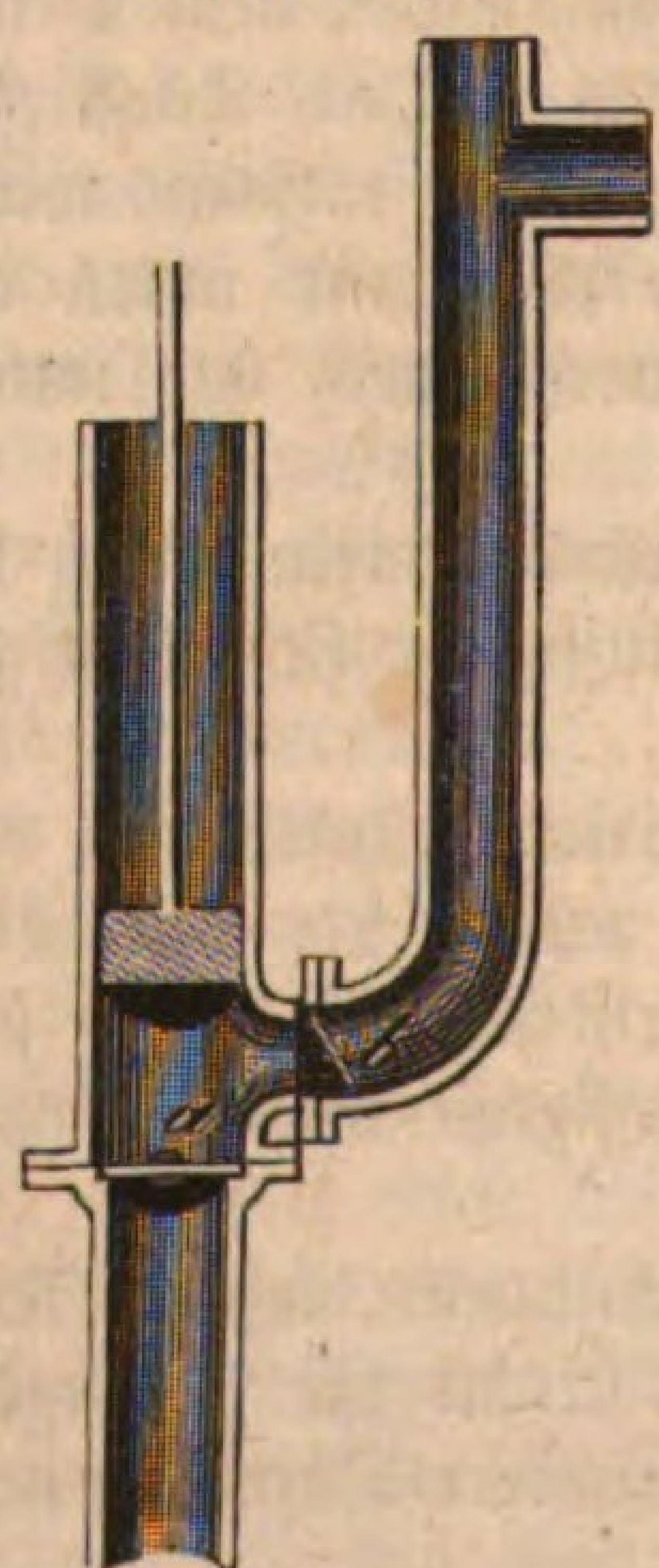


Zu den verbreitetsten, auf dem Mariotte'schen Gesetze beruhenden Vorrichtungen gehören ferner die Saug- und die Druckpumpe.

An der ersteren unterscheiden wir den Stiefel, den Kolben und das Saugrohr, welches bis unter die Oberfläche des Wassers reicht. Zwischen dem Stiefel und Saugrohr ist das Ventil a, Fig. 42, und in dem Boden des Kolbens das Ventil b angebracht. Beide Ventile können sich nur nach oben öffnen. Wird der Kolben in die Höhe gezogen, so schließt sich das Ventil b, das Ventil a aber öffnet sich und die Luft wird im Stiefel und im Saugrohr verdünnt, in Folge dessen das Wasser in diesem emporsteigt. Beim Niedergange des Kolbens schließt sich das Ventil a und b öffnet sich, um der im Stiefel enthaltenen Luft den Ausweg zu gestatten; die Luft bleibt daher in dem Saugrohr verdünnt und das Wasser in die Höhe gehoben. Wird jetzt der Kolben aufs Neue in die Höhe gezogen, so nimmt auch die Verdünnung der Luft in dem Saugrohre und die Höhe des Wassers in demselben zu, bis dieses endlich durch das Ventil a in den Stiefel und beim Niedergange des Kolbens durch das Ventil b über diesen tritt und beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Einmündung des Ausgußrohrs gehoben wird.

Da der Druck der Luft nur einer Wassersäule von (ohngefähr) 32 Fuß Länge das Gleichgewicht zu halten vermag, so darf auch bei einer aufs vollkommenste construirten Pumpe das Saugrohr diese Höhe nicht übersteigen. Das Ausgußrohr kann dagegen in jeder beliebigen Höhe über dem Bodenventile a liegen, nur daß natürlich eine um so größere Kraft erforderlich ist, je größer die Höhe der im Stiefel durch den Kolben emporzuhebenden Wassermasse ist.

(Fig. 43.)



Die Druckpumpe unterscheidet sich von der Saugpumpe nur darin, daß mit dem Stiefel nahe am Boden desselben die aufwärts gehende Steigeröhre verbunden ist, und da, wo diese in den Stiefel einmündet, ein sich in dieselbe öffnendes Ventil b, Fig. 43, angebracht ist, in dem Kolben aber ein solches fehlt. Das durch wiederholte Kolbenzüge bis in den Stiefel emporgehobene Wasser wird beim Niedergange des Kolbens, bei welchem das Ventil a sich schließt, durch das Ventil b in die Steigröhre getrieben, bis es endlich in dieser die Höhe des Ausflußrohres erreicht.

Heronsball.

Eine besonders lehrreiche Vorrichtung bietet der Heronsball, Fig. 44, dar, bei welchem das Wasser nicht, wie in dem Saugrohr der Pumpen, dnrch Verdünnung der Luft emporgehoben, sondern durch verdichtete Luft ausgetrieben wird. Der Heronsball besteht nehmlich aus einem Gefäße, in

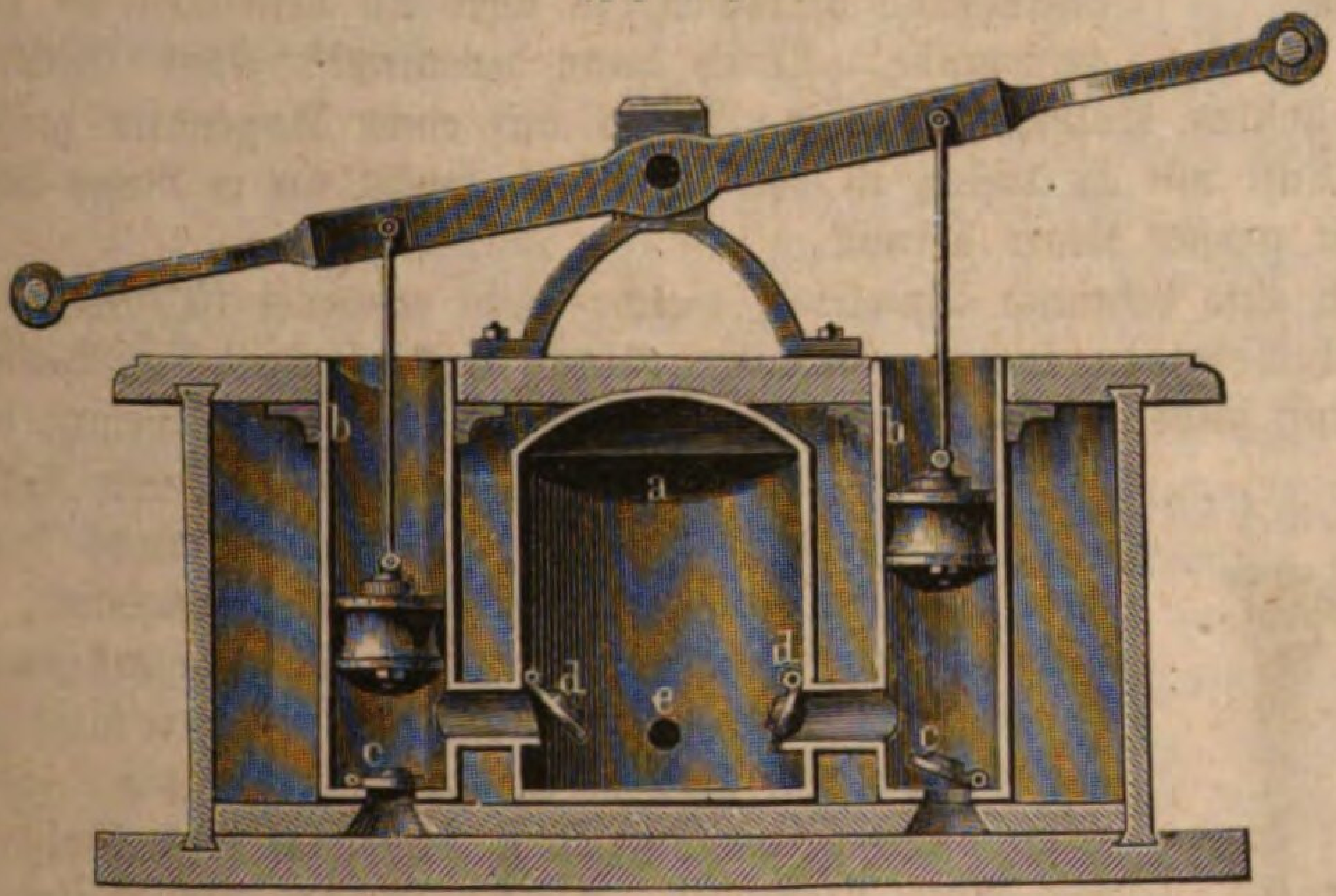
(Fig. 44.)



welches eine Röhre, welche oben in eine feine Oeffnung endet, bis nahe an den Boden herabreicht. Ist der Heronsball etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt und wird die Luft in demselben, z. B. durch Einblasen mit dem Munde durch die äußere Oeffnung, verdichtet, so bekömmt die innere verdichtete Luft über die äußere das Uebergewicht und treibt das Wasser durch die Röhre, wenn die äußere Oeffnung nicht verschlossen ist, in einem Strahle hervor.

Der Heronsball findet eine höchst nützliche Anwendung in der Feuerspritze, bei welcher er den Namen Windkessel führt. Zu beiden Seiten des Windkessels sind zwei Druckpumpen b und b angebracht, welche, so wie der Windkessel, in einem weiteren Behälter mit Wasser stehen, Fig. 45. Beim Aufsteigen des Kolbens tritt das Wasser aus dem Kasten durch das Ventil c in den Stiefel, aus Feuerspritze.

(Fig 45)



welchem es beim Niedergange des Kolbens durch das Ventil d in den Windkessel a getrieben wird. Indem es sich in diesem anhäuft, wird die in demselben befindliche Luft mehr und mehr verdichtet. — In dem Windkessel befindet sich entweder in ähnlicher Art, wie beim Heronsball, ein bis nahe an den Boden reichendes Rohr, welches äußerlich in einen beweglichen Hals ausläuft; oder es ist nahe am Boden eine Oeffnung e angebracht, an welche sich ein Schlauch anschrauben läßt, der in ein messingnes Rohr mit enger Mündung endet. Dieses Rohr ist mit einem Hahn versehen, bei dessen Oeffnung das Wasser vermöge des durch die verdichtete Luft in dem Windkessel ausgeübten Druckes in einem zusammenhängenden Strahle aus dem Rohre ausspritzt. Ohne den Windkessel würde das Wasser bei jedem Niedergange eines Kolbens stoßweise ausgetrieben werden.

(Fig. 46.)



Die große Kraft der verdichteten Luft zeigt besonders auffallend die Windbüchse. Dieselbe besteht aus dem Laufe und dem hohlen Kolben, Fig. 46, welcher durch ein sich nach Innen öffnendes Ventil verschlossen ist. Um die Luft in demselben zu verdichten, dient die

Compressionspumpe.

(Fig. 47.)



Compressionspumpe, Fig. 47. Diese besteht aus einem Stiefel, in welchem sich ein Kolben luftdicht auf nnd nieder bewegt. Am unteren Ende des Stiefels ist ein engerer Hals angebracht, an welchem der hohle Kolben der Windbüchse, Fig. 46, oder ein anderes Gefäß, in welchem die Luft verdichtet werden soll, angeschraubt wird. Beim Niedergange des Kolbens wird die in dem Stiefel enthaltene Luft in das angeschraubte Gefäß, wenn sich das Ventil desselben öffnet, gepreßt. Das Ventil schließt sich dagegen, wenn der Kolben in die Höhe gezogen wird, und die Luft bleibt in dem Gefäße verdichtet. Um den Stiefel aufs Neue mit Luft zu füllen, ohne den Kolben ganz herauszuziehen, ist seitwärts in demselben bei a, Fig. 47, eine kleine Oeffnung angebracht.

Ist in dem hohlen Kolben der Windbüchse die Luft hinreichend verdichtet, so wird an denselben der Lauf angeschraubt. Wird dann vermittelst eines Drückers das an dem hohlen Kolben befindliche Ventil auf einen Augenblick geöffnet, so tritt die Luft mit Heftigkeit in den Lauf und treibt die in diesem befindliche Kugel mit großer Kraft heraus.

Cartesianischer Taucher.

Auch eine bekannte Spielerei, welche wohl geeignet ist, das Erstaunen der Ungebildeten zu erregen, aber ihre leichte Erklärung in der Ausdehnsamkeit der Luft findet, wollen wir nicht unerwähnt lassen; wir meinen den cartesianischen Taucher, Fig. 48. Dieser besteht aus einer hohlen gläsernen Figur, welche etwas leichter ist, als Wasser, also eben in demselben schwimmt, und an dem unteren Ende, etwa an der Spitze eines Fußes, mit einer feinen Oeffnung versehen ist. Wird diese Figur in ein Gefäß mit Wasser gebracht, so hindert die in der Figur enthaltene Luft das Eintreten des Wassers durch die feine Oeffnung in das Innere der Figur. Wird aber das Gefäß oben mit Blase oder mit einem Blatte von Kautschuck überbunden, so bringt, wenn man mit dem Finger auf die Ueberbindung einen Druck ausübt, indem dieser Druck durch die ganze Wassermasse sich fortpflanzt, durch die feine Oeffnung Wasser in das Innere der Figur ein, dieselbe nimmt an Gewicht zu und sinkt zu Boden. Bei nachlassendem äußeren Drucke aber wird das eingetretene Wasser durch die Ausdehnung der in dem Inneren der Figur zusammengepreßten Luft wieder ausgetrieben, und die Figur steigt in die Höhe.

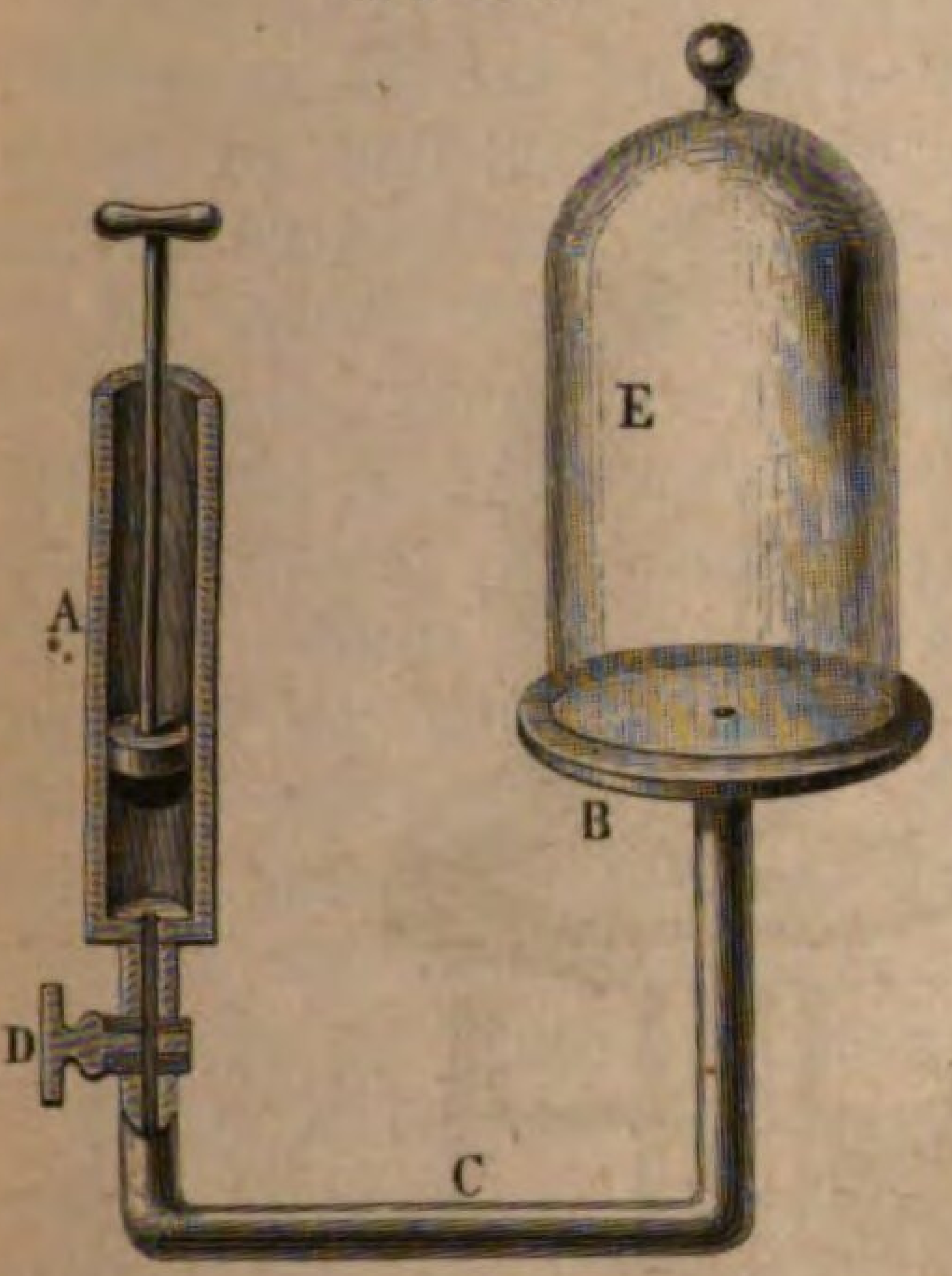
(Fig. 48.)



Luftpumpe.

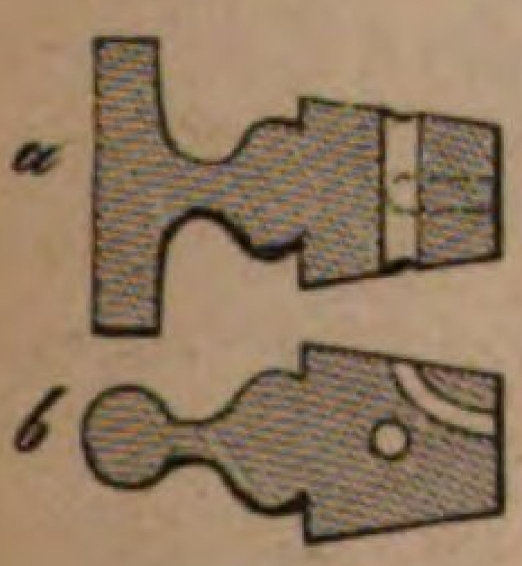
Unter allen Vorrichtungen, welche sich auf die Ausdehnsamkeit der Luft stützen, ist die lehrreichste und für den Physiker wichtigste die Luftpumpe. Die wesentlichsten Theile einer Luftpumpe sind der Stiefel A, Fig. 49, in welchem sich ein Kolben luftdicht auf und nieder bewegen läßt, der sorgfältig abgeschliffene Teller B, auf welchem sich der Recipient, eine gläserne Glocke, deren Rand ebenfalls sorgfältig abgeschliffen ist, luftdicht aufsetzen läßt, und der Hahn D, welcher nahe am Boden des Stiefels in der Röhre C, welche diesen mit dem Teller verbindet, angebracht ist. Dieser Hahn hat eine doppelte Bohrung, wie dieß die in größerem Maaßstabe ausgeführten

(Fig 49.)



Abbildungen, Fig. 50, a und b, zeigen. Bei der Stellung a ist der Recipient mit dem Stiefel verbunden, die äußere Luft aber von beiden abgesperrt; wird jetzt der Kolben in die Höhe gezogen, so dehnt sich die Luft in dem Recipienten bis in den Stiefel aus und wird folglich verdünnt. Damit dieselbe nun beim Niedergange des Kolbens nicht wieder verdichtet wird, so wird der Hahn vorher um 90⁰ in die Stellung b gedreht, bei welcher der Recipient gänzlich abgesperrt ist, die in dem Stiefel enthaltene Luft aber nach außen entweichen kann. Wird der Kolben abermals in die Höhe gezogen, nachdem der Hahn vorher in die Stellung a gedreht worden ist, so wird die Luft in dem Recipienten aufs Neue verdünnt und so fort bei jedem folgenden Kolbenzuge.

(Fig. 50.)



Wiewohl nun die Verdünnung immer mehr zunimmt, so giebt es doch für alle Luftpumpen eine gewisse Grenze, über welche sich dieselbe nicht treiben läßt, da auch die aufs sorgfältigste construirten Luftpumpen keine absolute Vollkommenheit besitzen. Auch die allerbesten Luftpumpen vermögen kaum eine tausendfache Verdünnung hervorzubringen. Uebrigens reicht man bei den meisten mit der Luftpumpe anzustellenden Versuchen schon mit einem weit geringeren Grade der Verdünnung aus. — Die hervorgebrachte Verdünnung läßt sich vermittelst eines sehr kurzen Barometers abmessen, welches man unter den Recipienten stellt, Fig. 51.

Sehr gewöhnlich werden bei Luftpumpen zwei Stiefel angebracht, an deren Kolben gezähnte Stangen befestigt sind, deren Zähne in ein Zahnrad eingreifen, welches durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt wird. Indem der eine Kolben gegen den äußeren Luftdruck aufwärts bewegt wird, während den anderen der Luftdruck niederwärts treibt, unterstützen sich dieselben gegenseitig in ihrer Bewegung. Fig. 51*) stellt eine zweistiefelige Luftpumpe nach ihrem äußeren Ansehen dar.

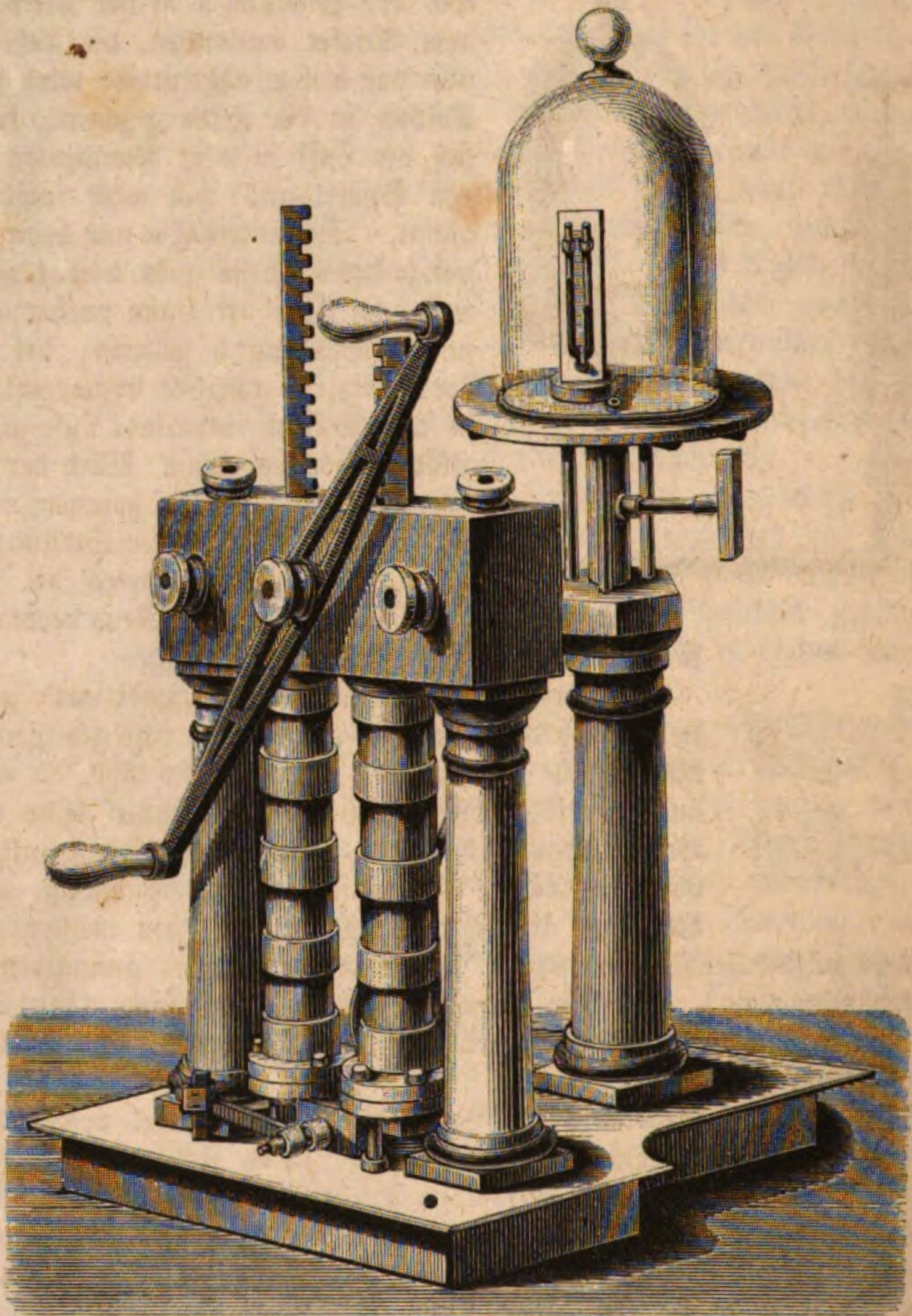
Unter den zahlreichen mit der Luftpumpe auszuführenden Versuchen heben wir als besonders lehrreich den folgenden heraus:

Schon nach wenigen Kolbenzügen haftet der Recipient fest an dem Teller, indem jetzt der äußere Luftdruck über den Druck der inneren verdünnten Luft das Uebergewicht hat. Will man den Recipienten wieder abheben, so dreht man den Hahn in die entgegengesetzte Stellung von Fig. 50, b, wo dann die äußere Luft in den Recipienten wieder eintritt. — Wendet man als Recipienten einen beiderseits offenen Cylinder an, welchen man oben mit einer dünnen Blase überbunden hat, so wird diese bei rascher Verdünnung durch den äußern Luftdruck gesprengt.

---

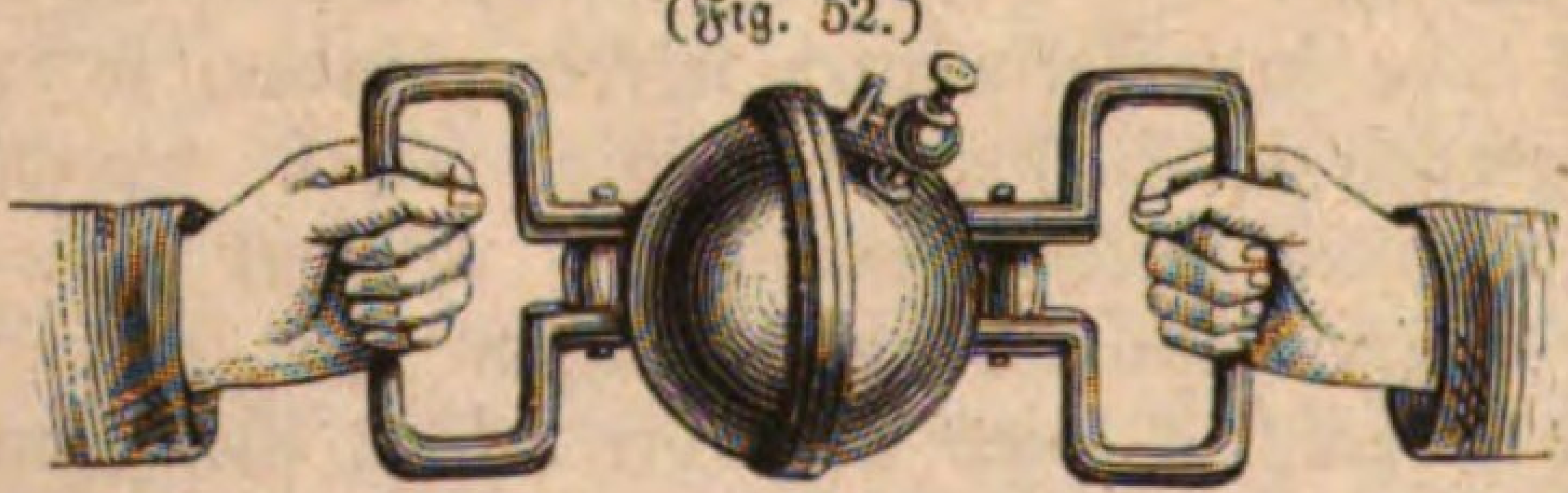
*) Diese und einige andere Figuren sind mit einiger Abänderung aus der durch schöne Abbildungen ausgezeichneten Experimentalphysik von Grothe (Hagen, 1850) entlehnt.

(Fig. 51.)



Zwei hohle Halbkugeln, welche mit ihren abgeschliffenen Rändern genau auf einander passen und also eine Hohlkugel darstellen, Fig. 52, werden auf dem Teller festgeschraubt und nachdem die Luft in denselben stark verdünnt worden, durch einen Hahn geschlossen. Werden die so verbundenen Halbkugeln jetzt von dem Teller abgeschraubt, so lassen sich dieselben auch bei Anwendung einer beträchtlichen Kraft nicht auseinander reißen; sie können aber ganz leicht auseinander gezogen werden, wenn man den Hahn öffnet und die Luft eintreten läßt.

(Fig. 52.)



Otto von Guerike, der Erfinder der Luftpumpe, stellte auf dem Reichstage zu Worms im Jahre 1654 diesen und verschiedene andere Versuche mit der Luftpumpe an und versetzte hierdurch den Kaiser und die versammelten Reichsfürsten in das äußerste Erstaunen. Die beiden Halbkugeln, deren sich Guerike bediente, hatten eine Magdeburger Elle im Durchmesser, und 24 Pferde vermochten dieselben nicht auseinander zu reißen. Eine leicht auszuführende Rechnung zeigt jedoch, daß der Druck der Luft, welcher die beiden Halbkugeln zusammenpreßte, noch nicht dem Gewicht von 6000 Pfund gleich kam. Wenn wir nun die Kraft, welche ein Pferd bei gehöriger Anstrengung seiner Muskeln auszuüben vermag, auf 200 Pfund schätzen, so würden 30 vor jede Halbkugel gespannte Pferde, also im Ganzen deren 60 ausgereicht haben, um dieselben auseinander zu reißen. — Man pflegt diese Halbkugeln die Magdeburger zu nennen, weil Otto von Guerike Bürgermeister zu Magdeburg war.

Weiter führen wir folgenden, sehr einfachen, aber darum nicht minder lehrreichen Versuch an: Wenn man eine schlaffe, nur wenig Luft enthaltende, aber fest zugebundene Blase unter den Recipienten der Luftpumpe bringt, Fig. 53, so schwillt dieselbe an, so wie die Luft im Recipienten verdünnt wird; sie sinkt aber wieder zusammen, wenn man in den Recipienten die äußere Luft wieder eintreten läßt.

(Fig. 53.)



Dieser Versuch zeigt besonders deutlich, daß dem Drucke, welchen hohle Körper von der äußeren Luft erleiden, durch die Elasticität der im Innern derselben enthaltenen Luft das Gleichgewicht gehalten wird, daß diese innere Luft die Körper eben so stark auszudehnen strebt, als die äußere Luft sie zusammenpreßt, und daß dieselbe sofort das Uebergewicht erhält, wenn der äußere Luftdruck vermindert wird.

Der beschriebene Versuch wird aber noch besonders lehrreich durch seine Aehnlichkeit mit dem Mechanismus des Athmungsprozesses. Wir haben oben angegeben, daß bei der Zusammenziehung des Brustkastens die Lungen zusammengepreßt werden, und die Luft aus denselben ausströmt, und daß bei nachlassendem Drucke die Lungen sich wieder ausdehnen; allein wir haben noch die Frage zu beantworten, wodurch dieß Letztere bewirkt wird? Denn eine zusammengepreßte, mit einer Oeffnung versehene Blase dehnt sich keineswegs bei nachlassendem Drucke von selbst wieder aus. Anders verhält es sich jedoch mit der Blase unter dem Recipienten der Luftpumpe, welche sich in Folge des verminderten Druckes der dieselbe umgebenden Luft ausdehnt. Ganz Aehnliches ist auch bei den Lungensäcken der Fall, welche in dem luftdicht geschlossenen Brustkasten liegen. Bei der Zusammenziehung des Brustkastens wird zunächst die Luft in diesem verdichtet; in Folge hiervon erleiden auch die von der zusammengepreßten Luft im Brustkasten umgebenen Lungen einen verstärkten Druck und werden daher ebenfalls zusammengepreßt. Bei der Ausdehnung des Brustkastens dagegen wird die Luft in demselben wieder verdünnt, der Druck, welchen die Lungen von der sie umgebenden Luft im

Mechanismus des Athmens.

Brustkasten erleiden, vermindert sich, und die atmosphärische Luft, mit welcher die Lungen durch die Luftröhre in Verbindung stehen, erhält das Uebergewicht und strömt in dieselben ein.

Specifisches Gewicht der Luft.

Durch die Luftpumpe werden wir auch in den Stand gesetzt, das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wird ein gläserner Ballon, welcher vermittelst einer messingenen Fassung auf den Teller der Luftpumpe aufgeschraubt und durch einen Hahn verschlossen werden kann, (möglichst) luftleer gemacht und hierauf sorgfältig gewogen. Zieht man dann das Gewicht, welches der Ballon jetzt zeigt, von dem Gewichte ab, welches derselbe besitzt, wenn er mit Luft gefüllt ist, so erhält man (annähernd) das Gewicht der in dem Ballon enthaltenen Luft, und wenn man überdieß den räumlichen Inhalt des Ballons kennt, so wird man hieraus leicht das Gewicht eiues Kubikfußes Luft herleiten können. Man findet auf diese Art, daß ein Kubikfuß atmosphärischer Luft ohngefähr 40 Gramm oder $^1/_{12}$ Pfund wiegt, und daß daher die Luft ohngefähr 800mal leichter, als Wasser ist. Uebrigens müssen wir noch bemerken, daß bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes der Luft sowohl der Luftdruck, als auch die Temperatur zu berücksichtigen ist. Denn da durch die Wärme die Luft ausgedehnt wird, so ist klar, daß warme Luft weniger wiegt, als kalte, und eben so würde auf einem hohen Berge, auf welchem das Barometer nur noch auf 14 Zoll stände, die Luft nur halb so schwer, als im Thale sein. Die obigen Angaben über das Gewicht der Luft gelten für die gewöhnliche Lufttemperatur und einen Barometerstand, welcher von 28 Zoll nicht sehr verschieden ist.

In ähnlicher Art läßt sich auch das specifische Gewicht anderer Luftarten finden, indem man einen Ballon möglichst luftleer macht und dann mit der abzuwägenden Luft füllt.

Luftballon.

Da die Luft flüssig und schwer ist, so muß, eben so wie ein ins Wasser getauchter Körper an Gewicht verliert, auch jeder in der Luft befindliche Körper so viel an Gewicht verlieren, als die durch ihn verdrängte Luftmasse wiegt. Sind wir also im Stande einen Körper aufzufinden, von welchem ein Kubikfuß weniger als $^1/_{12}$ Pfund (40 Gramm) wiegt, so muß derselbe in der Luft emporsteigen. Als ein solcher Körper bietet sich vorzüglich Wasserstoffgas dar, von dessen Bereitung weiter unten im chemischen Theile gehandelt werden wird. Rein dargestellt ist dasselbe beinahe 14mal leichter, als atmosphärische Luft. Wenn man also einen hinreichend großen Ballon von einem leichten, aber luftdichten Zeuge mit diesem Gase füllt, so muß derselbe in der atmosphärischen Luft in die Höhe steigen. Ehe wir hiervon weiter handeln, werfen wir zunächst einen Blick auf die Geschichte der Erfindung des Luftballons. Wir dürfen annehmen, daß zu allen Zeiten in den Menschen das Bestreben rege gewesen ist, sich dem Vogel gleich in die Luft zu erheben. Sehen wir den Vogel mit leichtem Flügelschlage die Lüfte durcheilen, in wessen Brust stiege nicht der Wunsch auf, sich mit gleicher Freiheit in die Luft zu erheben und in derselben fortbewegen zu können. Ein Zeugniß von diesem Streben in ältester Zeit giebt uns die Fabel von Dädalus, welcher nebst seinem Sohne Icarus mehrere tausend Jahr vor unserer Zeitrechnung mit Hilfe von Flügeln, die mit Wachs an den Körper befestigt waren, zu fliegen versucht haben soll. Aber indem die Fabel weiter erzählt, daß Icarus, indem er sich dem Feuer der Sonne zu sehr näherte, wodurch das Wachs schmolz, aus der Luft ins Meer stürzte und seinen

Tod fand, deutet sie nicht blos das Mißlungene dieses Versuches, sondern überhaupt die Unausführbarkeit desselben an. — Mit neuer Stärke mußte das so natürliche Verlangen, in die Luft sich erheben zu können, hervortreten, als im Jahre 1766 ein so leichter Körper, wie das Wasserstoffgas, von Cavendish in England entdeckt wurde. Von verschiedenen Physikern gemachte Vorschläge oder angestellte Versuche hatten jedoch nicht sofort den gewünschten Erfolg, indem die zur Hülle des Ballons angewendeten Substanzen theils zu porös waren und das Gas durchließen, theils im Verhältniß zur Größe der ausgeführten Ballons ein zu großes Gewicht hatten. Cavallo, welcher sich hiermit eifrigst 1782 beschäftigte, gelangte nicht weiter, als kleine mit Wasserstoffgas gefüllte Seifenblasen in der Luft emporsteigen zu lassen.

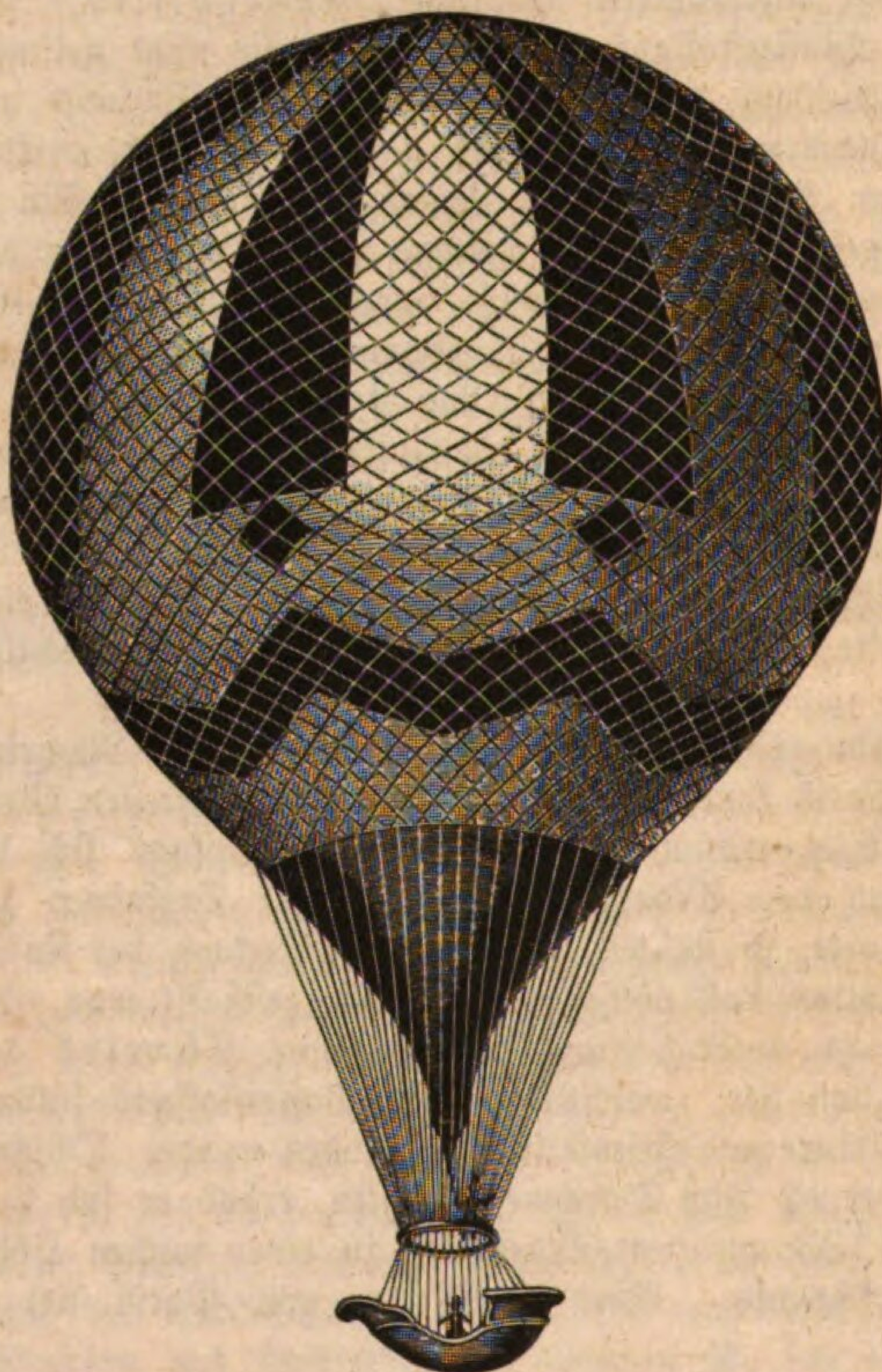
Diejenigen, welche zuerst das Ziel erreicht haben, einen Ballon mit festerer Hülle herzustellen, welcher sich von selbst in die Luft erhob, sind die in Mathematik und Physik wohl unterrichteten Gebrüder Montgolfier. Da ihnen in dieser Absicht mit Wasserstoffgas angestellte Versuche nicht gelingen wollten, so füllten sie, gleichsam die Wolken nachbildend, Ballons von Taffet mit Rauch von brennendem Papier, Stroh u. dgl. an, und wirklich gelang es ihnen, dergleichen Ballons zum Aufsteigen zu bringen. Ein in der angegebenen Weise ausgeführter Ballon, welcher einen Durchmesser von 35 Fuß hatte und außer seinem eigenen Gewichte noch eine Last von 400 Pfund trug, erhob sich am 5. Juni 1783 zu Annonay in Gegenwart der Stände von Vivarais bis zu einer Höhe von etwa 1000 Fuß und fiel in der Entfernung einer halben Meile vom Orte des Aufsteigens wieder nieder. Die Gebrüder Montgolfier irrten indeß wesentlich darin, das sie einem eigenthümlichen aus dem Verbrennen von Stroh und Papier sich entwickelnden Gase die Steigkraft ihres Ballons zuschrieben, welcher dieselbe vielmehr dem Umstande verdankte, daß die Luft in der Wärme sich beträchtlich ausdehnt und leichter wird.

Als die überall mit dem größten Enthusiasmus aufgenommene Nachricht von dieser Erfindung nach Paris kam, erregte sie hier den lebhaftesten Wetteifer. — Da man aber richtig erkannte, daß das Wasserstoffgas sich bei weitem besser, als das von den Montgolfier angewendete Verfahren zur Füllung der Luftballons eignete, so stellten, nachdem zur Deckung der Kosten auf dem Wege der Subscription das nöthige Geld herbeigeschafft war, die Mechaniker Gebrüder Robert unter Leitung des Professor Charles aus gefirnißtem Taffet einen Ballon her, welchen sie mit Wasserstoffgas füllten, das durch verdünnte Schwefelsäure und Eisenfeilicht entbunden wurde. Obschon dieser Ballon nur wenig über 12 Fuß Durchmesser hatte, erhob er sich doch sehr rasch am 27. August 1783 auf dem Marsfelde zu einer solchen Höhe, daß er in den Wolken verschwand. Etwa 3 Meilen von Paris fiel er wieder zur Erde nieder.

Schon im folgenden Monate kam auch der jüngere Montgolfier nach Paris und ließ hier verschiedentlich nach dem von ihm entdeckten Verfahren gefüllte Luftballons aufsteigen. Ins Besondere ließ er am 19. September vor der königlichen Familie zu Versailles einen Luftballon aufsteigen, an welchem ein Käfig angehängt war, in welchem sich ein Hammel, eine Ente und ein Hahn befanden. Der Ballon erhob sich bis zur Höhe von etwa anderthalb tausend Fuß und senkte sich nach 8 Minuten in der Entfernung von ohngefähr einer halben Meile wieder zur Erde. Die Thiere wurden wohl behalten, der Hammel sogar fressend in dem Käfig angetroffen.

Diesen Vorgängern folgend wagten nun sehr bald auch Menschen mit Luftballons aufzusteigen. Unter diesen ist zuerst Pilatre de Rozier, Vorsteher des Museums, anzuführen. Nach verschiedenen Versuchen, mit einem von Montgolfier angefertigten Ballon, der an einem Seile gehalten wurde, und je nach Vermehrung oder Verminderung des unter dem Ballon angebrachten Feuers sich mehr hob oder senkte, machte er in Gesellschaft des Marquis d'Arlandes am 24. November 1783 die erste Luftreise, bei welcher er 25 Minuten in der Luft schwebte und sich in $^5/_4$ Meilen Entfernung vom Orte des Aufsteigens unbeschädigt wieder niederließ. Bei einer späteren Luftreise jedoch, welche Pilatre mit dem Parlamentsgliede Romain unternahm, entzündete sich die Maschine, die Luftschiffer stürzten aus einer Höhe von etwa 1200 Fuß herab und wurden aufs Schrecklichste zerschmettert.

(Fig. 54.)



Wir übergehen die weitere Aufzählung der seit dem ersten Versuche unternommenen Luftfahrten und führen nur noch an, daß schon in der kurzen Zeit von November des Jahres 1783 bis zum März 1785 von 58 verschiedenen Personen 35 Luftfahrten gemacht waren.

Zu den auch in neuerer Zeit häufig und mit vieler Sicherheit ausgeführten Luftreisen wendet man nur Ballons an, welche mit Gas, entweder mit Wasserstoffgas oder mit dem zwar schwereren, aber billiger zu erhaltenden Leuchtgase gefüllt werden. Die erste größere Luftreise mit einem mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon von Frankreich nach England ist von Blanchard 1785 ausgeführt worden.

Der Anwendung der Luftballons zu bestimmten Zwecken steht zur Zeit das noch unbesiegbare Hinderniß entgegen, daß die Luftschiffer den Ballon, Fig. 54, nicht nach Willkühr zu lenken vermögen, sondern sich der Richtung des Windes überlassen müssen.

V.

Mechanik.

Die vorhergehenden Erörterungen betrafen das Gleichgewicht fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Wenn hierbei auch schon öfters der Bewegung Erwähnung geschehen ist, so haben doch nicht die Bewegung selbst, die verschiedenen Arten und die Gesetze derselben den Gegenstand der Untersuchung gebildet. Ehe wir hierauf näher eingehen, führen wir unsern Lesern ein für alle Bewegungen überhaupt giltiges Gesetz vor, welches eben deshalb für die gesammte Bewegungslehre von der höchsten Wichtigkeit ist und in der Mechanik den eigenthümlichen Namen des Trägheitsgesetzes führt. Dasselbe lautet folgendermaßen:

Jeder Körper beharrt in dem Zustande der Ruhe oder Bewegung, in welchem er sich befindet, so lange nicht irgend eine Ursache hierin eine Aenderung hervorbringt. Das Trägheitsgesetz.

Der erste Theil dieses Gesetzes, daß es allemal der Einwirkung einer besondern Kraft bedarf, um einen ruhenden Körper in Bewegung zu setzen, wird der Erörterung nicht bedürfen, da nach aller Erfahrung kein ruhender Körper von selbst in Bewegung kommt. Der andere Theil aber, daß ein bewegter Körper, wenn nicht irgend eine Ursache entgegenwirkt, die Bewegung unverändert beibehält, scheint im Gegentheil mit der Erfahrung zu streiten, da wir nirgends auf der Erde einen Körper antreffen, welcher unaufhörlich in Bewegung bliebe. Allein dieser Widerspruch ist nur ein scheinbarer, da alle auf der Erde bewegten Körper theils durch den Widerstand, welchen die Luft ihrer Bewegung entgegensetzt, indem der bewegte Körper fortwährend genöthigt ist, Lufttheilchen vor sich her zu treiben und zur Seite zu schieben, theils durch die Reibung, da auch die glattesten Flächen nicht frei von Erhabenheiten und Vertiefungen sind, welche den freien Lauf der Bewegungen hemmen, eine Verminderung ihrer Geschwindigkeit erfahren, bis dieselben endlich ganz zur Ruhe kommen. Daß aber die einmal in Bewegung gesetzten Körper wirklich das Bestreben haben, ihre Bewegung fortzusetzen, lehren unzählige Erfahrungen. Die aus dem Geschütze abgefeuerte Kugel, der von der Sehne des Bogens abgeschnellte Pfeil, der mit der Hand oder Schleuder geworfene Stein bewegen sich noch fort, nachdem die Kraft, welche die Bewegung hervorrief, längst aufgehört hat, zu wirken. — Wenn wir in einem Wagen fahren, und der Lauf desselben plötzlich gehemmt wird, so schwanken wir nach vorn; ja die schrecklichen Unglücksfälle, welche sich auf Eisenbahnen ereignen, sind vorzugsweise eine Folge des Trägheitsgesetzes. Wenn ein rasch bewegter Zug gegen ein seinen Lauf plötzlich hemmendes Hinderniß oder gegen einen andern auf den nehmlichen Schienen

entgegenkommenden Zug stößt, erfolgt, auch wenn der Locomotivführer die Maschine gänzlich außer Thätigkeit gesetzt hat, ja selbst wenn er dieselbe rückwärts schlagen läßt, dennoch, weil die Locomotive und die Waggons zu Folge des Trägheitsgesetzes das Streben haben, ihre schnelle Bewegung fortzusetzen, der heftigste Zusammenstoß, durch welchen die Wagen zertrümmert und die Reisenden beschädigt, oft aufs Schrecklichste verstümmelt werden. Auch wenn die Wagen einen minder heftigen Stoß auszuhalten vermögen, so werden doch die Personen in denselben, wenn der Zug plötzlich in seinem Laufe gehemmt wird, vermöge des Trägheitsgesetzes mit Heftigkeit nach vorn geschleudert, und dieselben erleiden mehr oder weniger starke Verletzungen.

Wenn in diesen und ähnlichen Fällen das Trägheitsgesetz mit Nachtheilen für uns verbunden ist, so wollen wir doch nicht außer Acht lassen, daß in allen Fällen, in denen wir Bewegung beabsichtigen, uns dasselbe den größten Nutzen bringt. Behalten wir das eben angeführte Beispiel von der Eisenbahn bei. Jedermann weiß, daß der stillstehende Zug, auch wenn die Locomotive sofort mit voller Kraft arbeitet, sich nur langsam zu bewegen anfängt, und daß die Geschwindigkeit desselben nur allmählig wächst und erst, nachdem der Zug einige Zeit im Gange ist, den höchsten Grad erreicht. Es vermag nehmlich auch die stärkste Kraft einen ruhenden Körper im ersten Momente nur eine äußerst geringe Geschwindigkeit zu ertheilen; indem aber der bewegte Körper die einmal erlangte Geschwindigkeit vermöge des Trägheitsgesetzes beibehält, muß diese bei fortdauernder Einwirkung der Kraft immer mehr zunehmen. Hat die Locomotive und der angehängte Zug die beabsichtigte Geschwindigkeit erreicht, so würde ohne die Reibung an den Schienen und den Widerstand der Luft der Zug vermöge des Trägheitsgesetzes mit unveränderter Geschwindigkeit von selbst weiter gehen; die Dampfkraft der Locomotive hat daher jetzt weiter nichts zu leisten, als für die Verluste, welche die angeführten Hindernisse bewirken, Ersatz zu gewähren.

Wenn in Folge dieser Hindernisse alle bewegten Körper auf der Erde, trotz des Strebens, ihre Bewegung beizubehalten, endlich doch zur Ruhe kommen, so bieten uns dagegen die Himmelskörper, die um die Sonne kreisenden Planeten und die um diese sich bewegenden Nebenplaneten, Beispiele von Bewegungen dar, welche seit den fernsten Zeiten, so weit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderter Geschwindigkeit fortdauern, ohne daß eine den Planeten oder Nebenplaneten zur Bewegung antreibende Kraft vorhanden wäre. Denn die anziehende Kraft der Sonne oder des Hauptplaneten wirkt wesentlich nur dahin, den Planeten oder Nebenplaneten in seiner Bahn zu erhalten, zwingt denselben sich in einer krummlinigen Bahn um den Centralkörper zu bewegen; hörte diese Kraft plötzlich auf zu wirken, so würde sich der bewegte Körper in gerader Linie, nehmlich in der Richtung der Tangente des Punktes der Bahn, in welchem sich derselbe eben befindet, und mit der Geschwindigkeit, welche er in demselben erlangt hat, in den unermeßlichen Weltraum fortbewegen.

Jeder bewegte Körper hat nehmlich auch das Bestreben, die Richtung seiner Bewegung unverändert beizubehalten; und das ist der dritte Theil des Trägheitsgesetzes, welchen wir noch näher zu betrachten haben. Kein bewegter Körper durchläuft von selbst eine krummlinige Bahn. Die krummlinige Bahn, welche z. B. schief aufwärts geworfene Körper beschreiben, ist eine Folge davon, daß dieselben fortwährend durch die Schwere abwärts gezogen werden. Wir vermögen dagegen keinen Körper um die Ecke zu werfen.

Da jeder bewegte Körper das Streben hat, in gerader Linie fortzugehen, so kann derselbe nur durch eine diesem Streben entgegenwirkende Kraft genöthigt werden, eine krummlinige Bahn zu beschreiben. Man pflegt das Streben eines in krummer Linie bewegten Körpers, nach der geraden Linie fortzugehen, die Schwungkraft zu nennen. Die Schwungkraft ist es, welche den Faden anspannt, an welchem wir einen Körper im Kreise umschwingen. Je rascher wir dieses thun, um so größer ist auch die Schwungkraft, um so stärker wird der Faden gespannt. Ueberschreitet die Größe der Schwungkraft die Haltbarkeit des Fadens, so reißt derselbe und der bewegte Körper fliegt nun in der Richtung der Tangente, des Punktes der Bahn, welchen er eben erreicht hat, fort. Die Schwungkraft.

Die Schwungkraft ist überhaupt um so größer, je rascher der Umlauf erfolgt, und je größer bei gleicher Umlaufszeit der Radius der Bahn ist. In Fabriken sind nicht selten dadurch Unglücksfälle veranlaßt worden, daß bei zu raschem Umlauf große eiserne Räder durch die zu starke Schwungkraft in Stücke zerrissen und die Stücke mit Heftigkeit umhergeschleudert wurden.

Man pflegt dergleichen Räder Schwungräder zu nennen; ihre Anwendung in Maschinen beruht jedoch nicht auf der eben behandelten Schwungkraft, sondern auf dem andern Theile des Trägheitsgesetzes, daß jeder bewegte Körper die erlangte Geschwindigkeit beizubehalten strebt. Sie dienen dazu, die Bewegung, obschon die Dampf- oder Wasserkraft, welche das Räderwerk in Bewegung setzt, nicht immer mit gleicher Stärke wirkt oder auch bald stärkere, bald schwächere Hindernisse zu überwinden hat, dennoch in möglichst gleichförmigem Gange zu erhalten.

Als weitere Erscheinungen, welche auf der Schwungkraft selbst beruhen, führen wir noch Folgende an: Die Gefahr des Umfallens bei einem Wagen, welcher rasch um eine Ecke biegt; bei Curven auf Eisenbahnen erhalten daher die Schienen an der Außenseite eine etwas erhöhte Lage; zu starke Krümmungen aber müssen bei denselben gänzlich vermieden werden. — Wenn wir uns rasch im Kreise bewegen, so neigen wir, um der Schwungkraft entgegen zu wirken, den Oberleib etwas nach Innen; — auch die Einrichtung und der Gebrauch des Roulettspieles beruhen auf der Schwungkraft, u. dgl. m.

Von dem höchsten Interesse aber sind die Folgerungen, welche sich aus der Kenntniß der Schwungkraft für die Bewegungen der Himmelskörper ableiten lassen. Schon oben haben wir als Beweis für die Richtigkeit des Trägheitsgesetzes die Planeten angeführt, welche Jahr aus Jahr ein mit unverminderter Geschwindigkeit sich um die Sonne bewegen. Daß dieselben nicht auch die Richtung ihrer Bewegung unverändert beibehalten, nicht in gerader Linie fortgehen, sondern eine krummlinige Bahn um die Sonne beschreiben, ist eine Folge der Anziehung, welche die Sonne auf die Planeten ausübt. Diese Anziehung durch die Sonne muß nun offenbar für jeden einzelnen Planeten mit der Schwungkraft, welche aus der krummlinigen Bewegung desselben entspringt, eine gleiche Größe haben, da entgegengesetzten Falles der Planet sich entweder der Sonne nähern oder von derselben entfernen müßte. Durch die Berechnung der Größe der Schwungkraft wird daher auch die Größe der anziehenden Kraft der Sonne erhalten.

Nachdem der Scharfsinn des unsterblichen Keppler im Anfange des 17. Jahrhunderts mit Benutzung der vorliegenden astronomischen Beobachtungen, besonders der für die damalige Zeit mit der äußersten Genauigkeit ausgeführten Beobachtungen Tycho de Brahe's, die Gesetze der Planeten- Gravitationsgesetz von Newton.

bewegung ermittelt hatte, wurde auf Grund dieser Gesetze durch den großen Newton gegen Ende des 17. Jahrhunderts das allgemeine Gravitationsgesetz entdeckt, daß nehmlich die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne verhält, d. h. daß die Kraft der Anziehung in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung u. s. w. auf den vierten, neunten, sechszehnten Theil herabgeht. Newton fand dieses Gesetz, indem er für die Bahnen der damals bekannten Planeten nach Keppler's Gesetzen die Schwungkräfte berechnete, welche, wie schon bemerkt, mit den Anziehungen der Planeten durch die Sonne gleiche Größe haben.

Newton zeigte ferner, daß auch die anziehende Kraft der Erde das nehmliche Gesetz befolgt, daß nehmlich die Kraft, mit welcher die Erde den Mond anzieht, sich zu der Kraft, mit welcher dieselbe anziehend auf die an ihrer Oberfläche befindlichen Körper wirkt, sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Mondes zum Quadrate der Entfernung der Oberfläche der Erde vom Mittelpunkte derselben verhält. Die nehmliche Ursache also, welche den fallenden Stein zur Erde treibt, nöthigt den Mond, in einer krummlinigen Bahn die Erde zu umkreisen.

Eintheilung der Bewegung.

Nach diesen Erörterungen über das Trägheitsgesetz, welchem, wie schon bemerkt, jeder bewegte Körper, von welcher Beschaffenheit auch immer seine Bewegung sein mag, unterworfen ist, und den wichtigen Folgerungen, welche wir aus diesem Gesetze gezogen haben, wenden wir uns nun zur näheren Betrachtung der verschiedenen Arten der Bewegung überhaupt. Schon oben bei Erörterung der allgemeinen Eigenschaften der Körper haben wir gesehen, daß eine Bewegung entweder gleichförmig oder ungleichförmig sein kann.

Eine gleichförmige Bewegung kann nur dann entstehen, wenn auf einen Körper eine Kraft nur während einer gewissen Zeit gewirkt hat, diese Einwirkung dann gänzlich aufhört, und der Körper sich selbst überlassen bleibt. Nur in diesem Falle wird der Körper, dem Trägheitsgesetze folgend, sich mit unveränderter Geschwindigkeit fortbewegen. Wenn dagegen die Einwirkung der Kraft auf den bewegten Körper fortdauert, so wird die hervorgehende Bewegung entweder beschleunigt oder verzögert sein, je nachdem die Kraft in der Richtung der Bewegung oder nach der entgegengesetzten Richtung wirkt.

Vom Stoße.

Ein Beispiel der ersteren Art von Bewegung bietet der Stoß dar, indem die Einwirkung des stoßenden auf den gestoßenen Körper nur auf einen Moment beschränkt ist, und nach Ablauf dieses Momentes der gestoßene Körper lediglich dem Trägheitsgesetze folgend sich fortbewegt. Wiewohl nun die beim Stoße zu berücksichtigenden Umstände ziemlich mannigfaltiger Art sein können, so sind doch die Erscheinungen des Stoßes im Ganzen von untergeordnetem Interesse, und wir beschränken uns daher auf die Anführung einiger Hauptfälle.

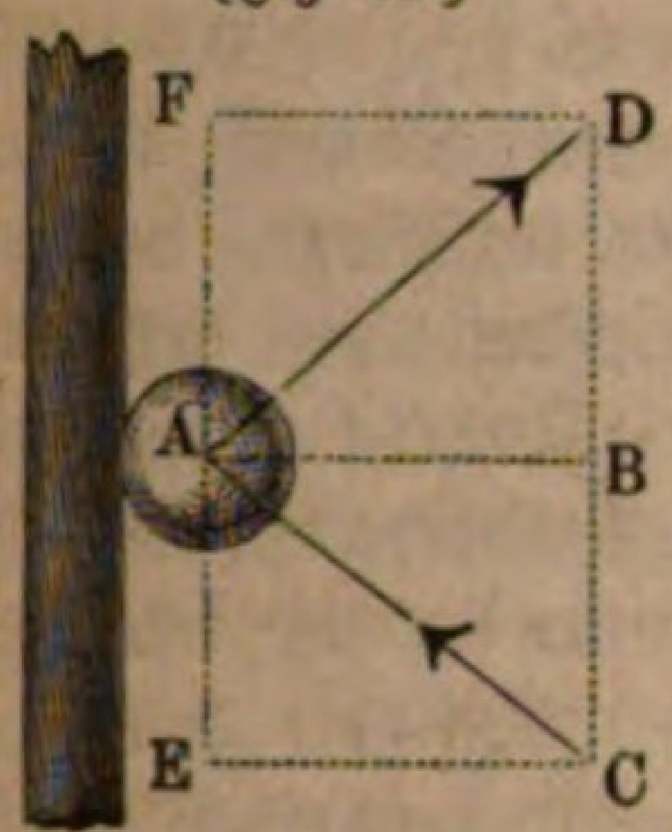
Ein wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen in Hinsicht des Stoßes elastische und unelastische Körper. Um größerer Einfachheit willen nehmen wir an, daß die zu betrachtenden Körper entweder ganz unelastisch, oder daß sie vollkommen elastisch sind, d. h. daß sie ihre Gestalt vollständig und mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie im Stoße zusammen gedrückt worden sind, wieder herzustellen streben. Eben so beschränken wir uns auf die Betrachtung kugelförmiger Körper. Unter diesen Voraussetzungen führen wir die folgenden Gesetze an:

Wenn eine ganz unelastische Kugel in einem geraden Stoße gegen eine feste Wand stößt, so ruht sie nach dem Stoße; stößt sie aber gegen eine andere ruhende Kugel von gleicher Masse, so gehen beide nach dem

Stoße, indem sich nun die zu bewegende Masse verdoppelt hat, mit der halben Geschwindigkeit der stoßenden Kugel fort.

Stößt eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden oder schiefen Stoße, so springt sie mit der nehmlichen Geschwindigkeit, mit welcher sie ankam, im ersten Fall auf dem nehmlichen Wege, im anderen Falle unter dem gleichen Winkel, aber nach der anderen Seite hin zurück, wie uns dieß die an die Bande eines Billards anprallenden Kugeln deutlich zeigen. — Die in der senkrechten Richtung AB, Fig. 55, ankommende Kugel erleidet in dieser Richtung im Stoße eine Zusammendrückung, und da sie nach dem Stoße ihre Gestalt mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt worden war, wieder herstellt, so geht sie mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie angekommen und auf dem nehmlichen Wege zurück. — Eine in der schiefen Richtung AC ankommende Kugel wird nicht in dieser Richtung, sondern in der auf der Widerstand leistenden Fläche senkrechten Richtung AB zusammengedrückt, da jeder Druck auf eine Fläche nur in senkrechter Richtung stattfindet. Um die Größe dieses Druckes, die Kraft, mit welcher die Kugel gegen die Wand stößt, so wie auch den Weg zu bestimmen, welchen die Kugel nach dem Stoße einschlägt, zerlegen wir die Bewegung AC der Kugel vor dem Stoße in ähnlicher Art, wie wir oben eine Kraft in zwei Seitenkräfte zerlegt haben, in die beiden Seitenbewegungen AE und AB. Die Bewegung AE erleidet offenbar im Stoße keine Aenderung, und die Kugel hat vermöge derselben auch nach dem Stoße das Bestreben, mit der Geschwindigkeit AF, welche mit AE gleiche Größe und Richtung hat, fortzugehen. Die Bewegung AB geht dagegen, wie wir eben gesehen haben, durch den Stoß in eine Bewegung von der nehmlichen Größe, aber entgegengesetzter Richtung über. Aus den beiden Bewegungen AB und AF ergiebt sich aber nach dem Satze vom Parallelogramme der Kräfte die Resultirende AD, welche mit AC gleiche Größe hat und um einen eben so großen Winkel, wie AC, von der Widerstand leistenden Wand abweicht.

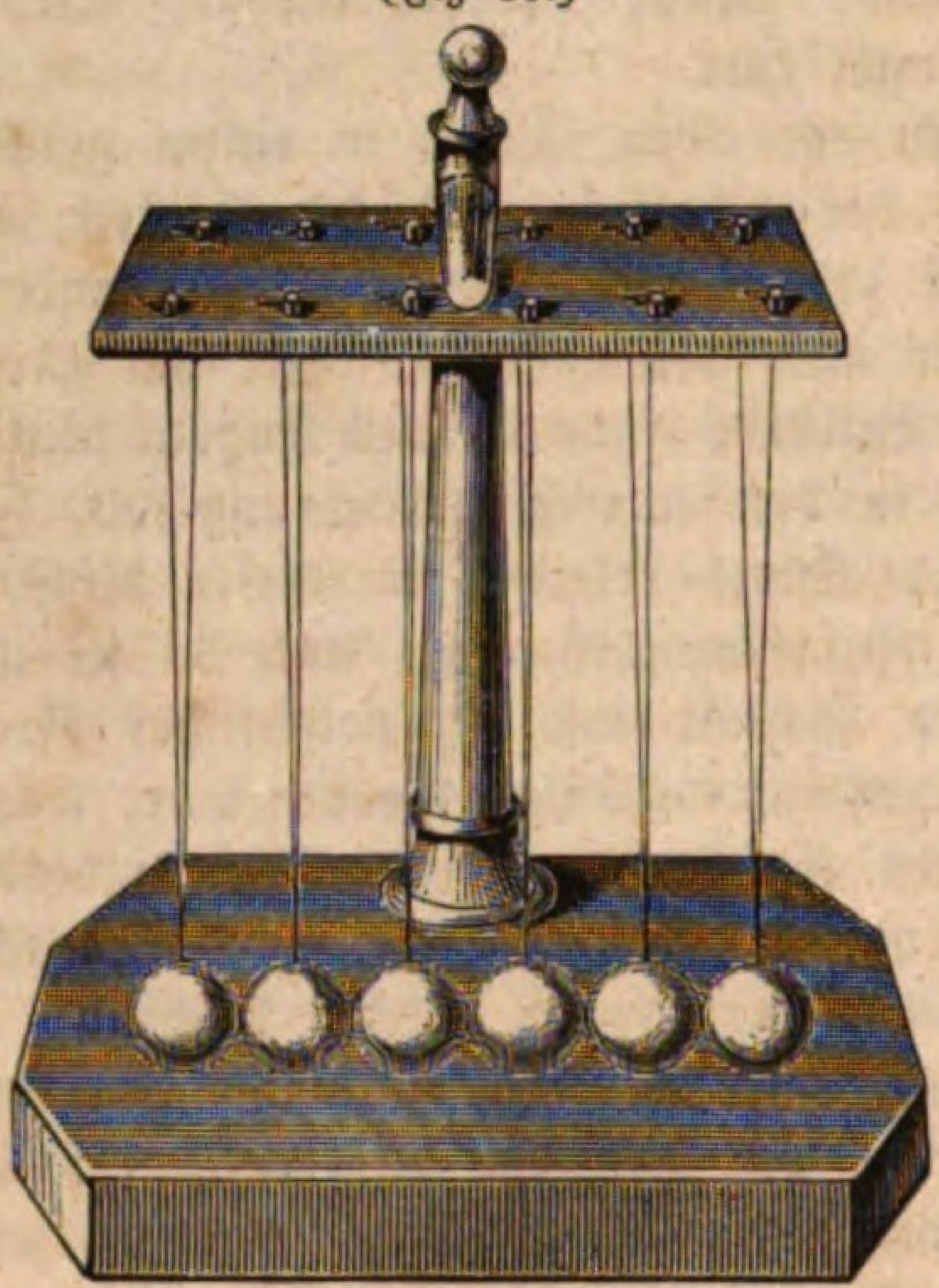
(Fig. 55.)



Stößt eine elastische Kugel gegen eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so ruht die bewegte Kugel nach dem Stoße und die ruhende geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort. Indem nehmlich die bewegte Kugel auf die ruhende von gleicher Masse stößt, giebt sie an diese im Stoße die Hälfte ihrer Geschwindigkeit ab. Weil aber nach beendigtem Stoße beide Kugeln mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie in diesem zusammengedrückt worden sind, ihre Gestalt wieder herstellen, so muß die gestoßene Kugel jetzt nochmals eben so viel an Geschwindigkeit gewinnen, die stoßende verlieren, und daher die erstere mit der vollen Geschwindigkeit der stoßenden weiter gehen, die letztere aber ruhen bleiben.

Versuche auf dem Billard stellen diese Erscheinung weniger deutlich dar, weil wegen der Reibung am Tuche die stoßende Kugel eine rotirende Bewegung erhält, welche auch nach dem Stoße noch anhält und ein Fortrollen der Kugel veranlaßt. Man zeigt diese Erscheinung am Besten an einer sogenannten Stoßmaschine, Fig. 56, bei welcher mehrere Kugeln an Fäden so aufgehängt sind, daß ihre Mittelpunkte in gerade Linie fallen. Hebt man an einer Seite eine Kugel auf und läßt dieselbe niederfallen, so

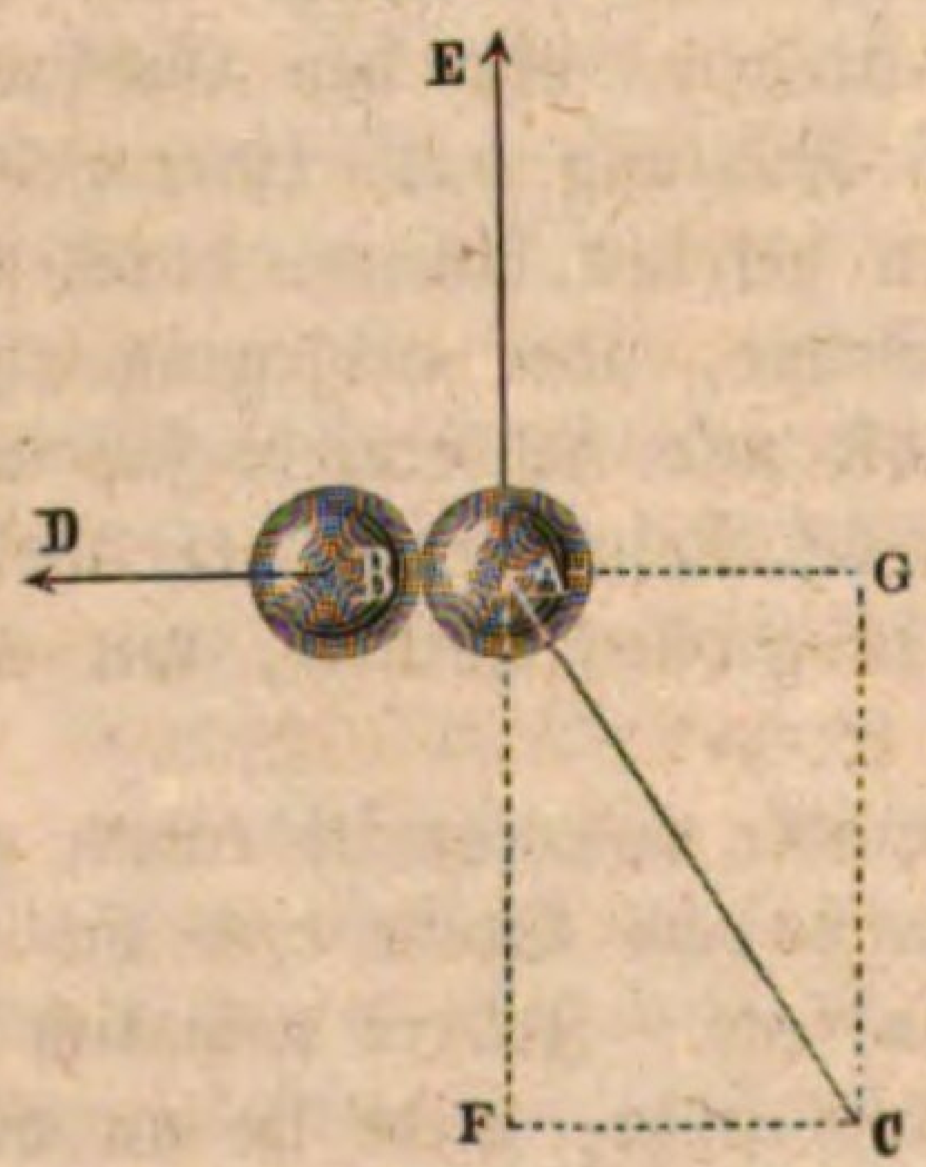
(Fig. 56.)



fliegt die letzte Kugel am anderen Ende fort, und die übrigen bleiben in Ruhe. Die stoßende Kugel überträgt nehmlich, wie wir so eben gezeigt haben, ihre volle Geschwindigkeit an die erste der gestoßenen, diese überträgt sofort die empfangene Geschwindigkeit an die zweite, die zweite eben so an die dritte u. s. w. Es müssen daher alle anderen Kugeln bis auf die letzte, welche fortfliegt, in Ruhe bleiben. — Werden an der einen Seite zwei, drei Kugeln aufgehoben, so werden beim Niederfallen derselben zwei, drei Kugeln an der anderen Seite fortgetrieben. — Auch die mit ihren Puffern zusammenstoßenden Waggons eines längeren Zuges auf der Eisenbahn zeigen ähnliche Erscheinungen.

Treffen zwei elastische Kugeln von gleicher Masse in einem schiefen Stoße zusammen, so geht die gestoßene Kugel in der Richtung einer Linie, welche durch die Mittelpunkte beider Kugeln und die Berührungsstelle im Stoße geht, die stoßende Kugel aber in einer hierauf senkrechten Richtung fort. — Ist A, Fig. 57, die stoßende, B die vor dem Stoße ruhende Kugel und AC der Weg, auf welchem die erstere vor dem Stoße anlangt, so geht B nach dem Stoße in der Richtung BD, A in der Richtung AE fort. Denken wir uns nehmlich die Bewegung AC in die beiden Seitenbewegungen AF und AG zerlegt, so kommt im Stoße offenbar nur die letztere in Anwendung. Indem nun die stoßende Kugel, wie oben gezeigt, diese Bewegung an die gestoßene überträgt, die Bewegung AF aber unverändert beibehält, so muß die erstere nach dem Stoße in der Richtung AE mit einer AF gleichen Geschwindigkeit und die gestoßene in der Richtung BD mit einer AG gleichen Geschwindigkett weiter gehen.

(Fig. 57.)



Während die Kraft des Stoßes nur auf eine sehr kurze Dauer beschränkt ist, so daß wir dieselbe als momentan ansehen können, und daher die durch den Stoß bewirkte Bewegung eine gleichförmige Bewegung ist, erzeugt eine continuirlich wirkende Kraft entweder eine beschleunigte oder eine verzögerte Bewegung. Das bekannteste Beispiel einer continuirlichen Kraft ist die Schwere. Die Bewegung eines fallenden Körpers ist eine beschleunigte, weil die Schwere fortdauernd im Sinne dieser Bewegung wirkt; die Bewegung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers dagegen ist eine verzögerte, weil die Schwere dieser Bewegung gerade entgegenwirkt.

Fall der Körper.

Die Gesetze der wirklich fallenden Körper im lufterfüllten Raume sind wegen des Widerstandes der Luft äußerst verwickelt, so daß es gar

nicht möglich ist, dieselben in voller Allgemeinheit und mit Berücksichtigung aller Umstände aufzustellen. Sehr einfache Gesetze würden sich dagegen ergeben, wenn die Körper im gänzlich luftleeren Raume fielen, und wenn man noch überdieß den Umstand unberücksichtigt läßt, daß die Körper während des Fallens dem Mittelpunkte der Erde ein wenig näher kommen und daher ihre Schwere etwas zunimmt. Unter dieser Voraussetzung würden sich für Körper, welche in einem luftleeren Raume fielen, folgende Gesetze ergeben:

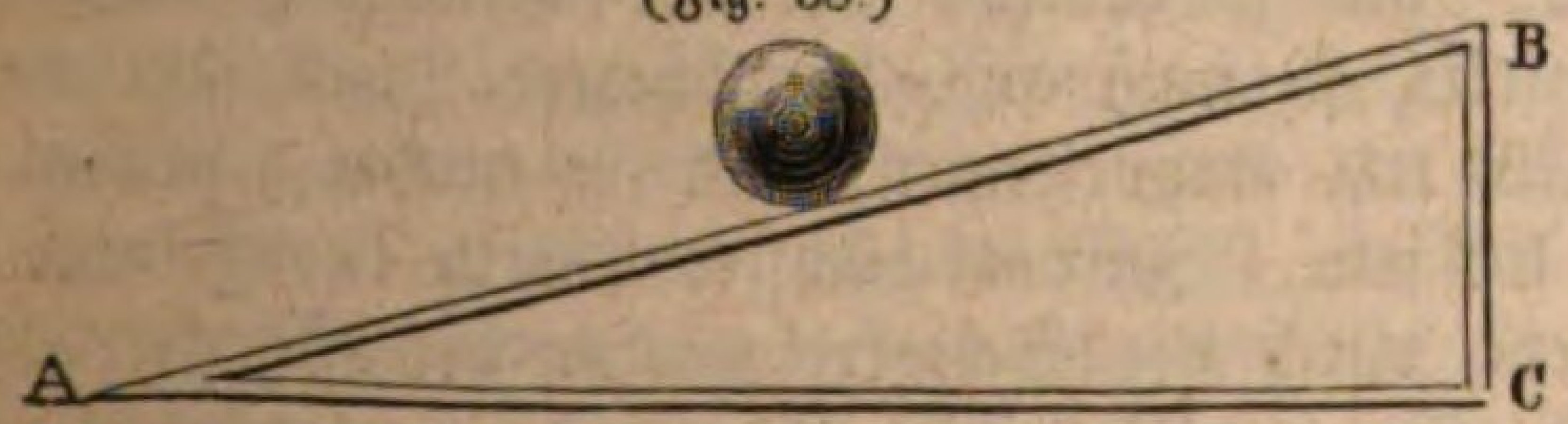
Da die Schwere unausgesetzt und mit gleicher Stärke auf den fallenden Körper wirkt, so muß auch seine Geschwindigkeit während des Fallens in gleichen Zeiten immer gleiche Zuwachse erhalten, und daher die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichem Verhältnisse mit der Zeit zunehmen.

Die durchlaufenen Räume aber wachsen wie das Quadrat der Zeit. Ein Körper fällt im luftleeren Raume in der ersten Secunde ohngefähr 15 Fuß, in 2 Secunden $4 \times 15 = 60$ Fuß, in 3 Secunden $9 \times 15 = 135$ Fuß, in 4 Secunden $16 \times 15 = 240$ Fuß u. s. w.

Diese Gesetze, welche aber, wie schon bemerkt, nur von dem Falle im gänzlich luftleeren Raume gelten, sind zuerst von Galilei im Anfange des 17. Jahrhunderts aufgefunden und durch den Fall auf der schiefen Ebene nachgewiesen worden.

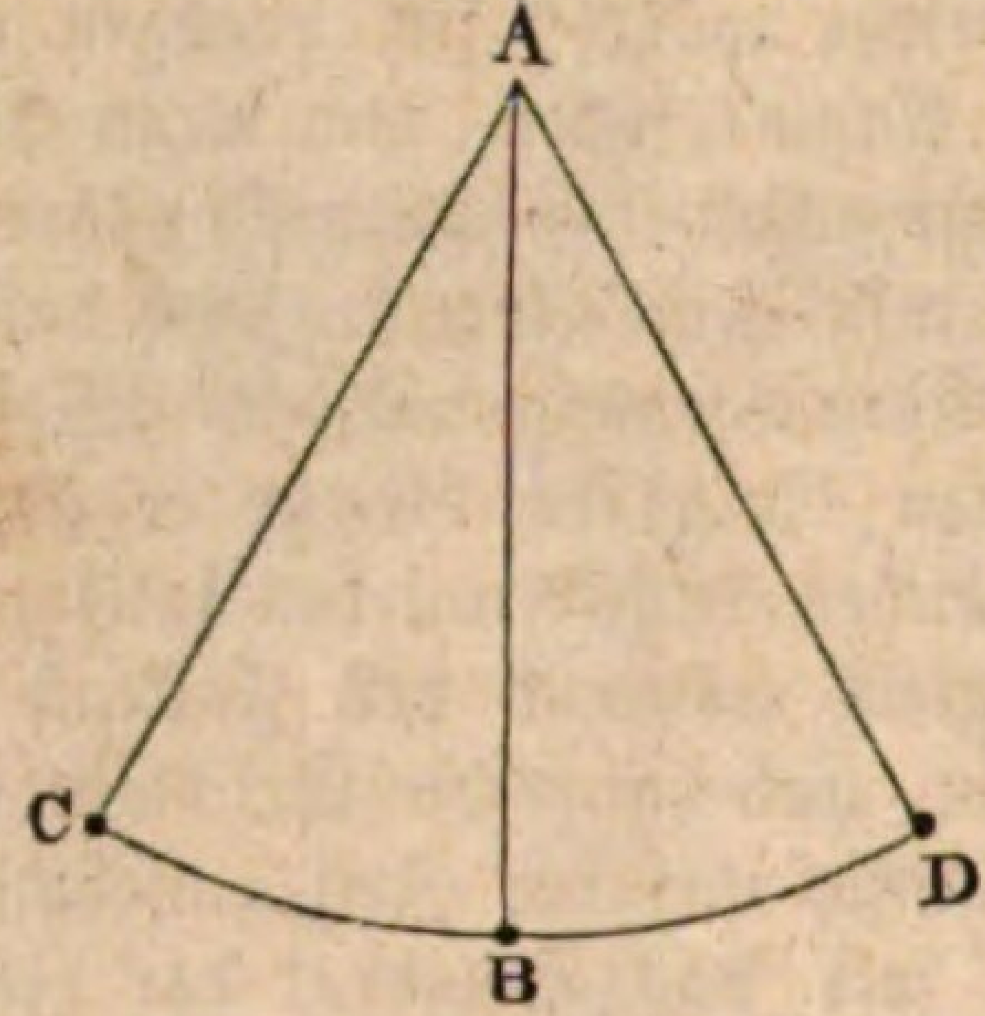
Bei dieser verhält sich die beschleunigende Kraft zur Schwere, wie sich unsere Leser vielleicht noch aus dem Abschnitte über die Maschinen erinnern werden, wie die Höhe BC zur Länge AB, Fig. 58. Wenn daher eine schiefe Ebene mit dem Horizonte einen so spitzen Winkel bildet, daß bei einer Länge von 15 Fuß die Höhe nur einen Fuß beträgt, so wird ein auf dieser Ebene herabgleitender Körper — abgesehen von allen Hindernissen der Bewegung — in der ersten Secunde 1 Fuß, in zwei Secunden 4 Fuß, in drei Secunden 9 Fuß u. s. w. zurücklegen. Der Körper wird sich daher nur mit einer mäßigen Geschwindigkeit fortbewegen. So lange aber die Geschwindigkeit klein ist, ist auch der Widerstand der Luft gering, und die Geschwindigkeit wird dann durch diesen nur um einen kleinen Theil ihrer eigenen Größe vermindert. Zu dem Widerstande der Luft gesellte sich zwar bei Galilei's Versuchen noch die Reibung. Damit diese jedoch auf die Versuche keinen erheblichen Einfluß ausübte, ließ Galilei messingne Kugeln in Rinnen, welche er mit glattem Pergament ausgelegt hatte, herabrollen, wodurch es ihm möglich wurde, die oben angeführten Gesetze durch die Erfahrung zu bestätigen.

(Fig. 58.)



Mit der Bewegung auf der schiefen Ebene hat die Bewegung des Pendels Aehnlichkeit, welches eine der wichtigsten Vorrichtungen des Physikers bildet. Ein Pendel ist jeder schwere Körper, welcher sich um einen Punkt, der nicht der Schwerpunkt ist, frei drehen läßt. Um jedoch die Theorie des Pendels bequemer vortragen zu können, gehen wir von einem hypothetischen, dem sogenannten mathematischen, Pendel aus. Man versteht hierunter eine Linie, in welcher nur ein Punkt schwer ist, und die an einem Endpunkte so befestigt ist, daß sie sich frei um denselben drehen kann. Man stellt ein solches Pendel annähernd dar, indem man ein Kügelchen von Blei an einem dünnen Faden aufhängt. Pendel

(Fig. 59.)



Wird ein mathematisches Pendel aus der senkrechten Lage AB, Fig. 59, in eine schiefe Lage AC gebracht, so kehrt es von selbst in die erstere zurück. Der schwere Punkt durchläuft den Kreisbogen BC, und diese Bewegung hat, wie schon gesagt, Aehnlichkeit mit der Bewegung auf der schiefen Ebene. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, daß bei dieser die Neigung beständig dieselbe bleibt, bei der Bewegung des schweren Punktes des Pendels auf dem Kreisbogen BC dagegen von C nach B hin die Neigung beständig abnimmt. Während daher die Bewegung eines fallenden Körpers auf einer schiefen Ebene eine gleichförmig beschleunigte ist, d. h. die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um immer gleiche Größen wächst, haben diese Zuwachse an Geschwindigkeit, welche der schwere Punkt des Pendels, indem er den Bogen BC durchläuft, in gleichen Zeiten erfährt, nicht eine gleiche Größe, sondern nehmen von C nach B hin ab. Weil aber die Geschwindigkeit des schweren Punktes doch immer noch Zuwachs von C bis B hin erhält, so muß bei der Ankunft des schweren Punktes in B seine Geschwindigkeit offenbar am größten sein. Derselbe fährt daher zu Folge des Trägheitsgesetzes fort, sich zu bewegen, und steigt jetzt auf dem Bogen BD empor. Da nun die Schwere dieser Bewegung ganz eben so entgegenwirkt, als sie vorhin bei der Bewegung auf dem Bogen BC beschleunigend wirkte, so muß auch der schwere Punkt jetzt durch einen eben so großen Bogen BD emporsteigen, als er vorher gefallen ist, und also Bogen BD gleich BC sein. In dem höchsten Punkte D angekommen, wird der schwere Punkt jetzt durch die Schwere wieder abwärts getrieben, und er durchläuft nun den Bogen DBC eben so in der entgegengesetzten Richtung. — Auf diese Art würde ein mathematisches Pendel, da bei demselben keine Hindernisse der Bewegung stattfinden, unaufhörlich hin und her schwingen. Bei einem physischen Pendel dagegen werden die Schwingungsbogen wegen des Widerstandes der Luft und wegen der Reibung am Drehungspunkte immer kleiner, bis dasselbe endlich ganz zur Ruhe kommt.

Von dem mathematischen Pendel gelten die folgenden Gesetze, welche, so wie die Gesetze des Falles, von Galilei im Anfange des 17ten Jahrhunderts aufgefunden worden sind:

1) Bei dem nehmlichen Pendel ist für kleine Schwingungsbogen, (welche 10 Grad nicht übersteigen,) die Dauer der Schwingungen von der Größe derselben (fast) unabhängig.

Wenn wir ein an einem Faden aufgehängtes Bleikügelchen in Schwingungen versetzen und die Schwingungen zählen, so finden wir, daß dasselbe in jeder folgenden Minute eben so viele Schwingungen macht, wie in der ersten, obschon die Schwingungsbogen immer kleiner werden.

2) Bei zwei Pendeln von ungleicher Länge verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Wenn wir den Faden, an welchem wir das Bleikügelchen aufgehängt haben, auf den vierten oder neunten Theil verkürzen, so macht das Pendel in der nehmlichen Zeit, in dem einen Falle doppelt, in dem anderen Falle dreimal so viel Schwingungen, als wenn es in seiner ganzen Länge schwingt.

Giebt man dem Faden die Länge von $36^3/_4$ Zoll, so wird das Pendel zu einer Schwingung fast genau eine Secunde Zeit gebrauchen, also in der Stunde 3600 Schwingungen vollenden.

Wir haben nun noch weiter zu zeigen, wie die angeführten Gesetze auf ein physisches Pendel zu übertragen sind. In einem physischen Pendel befindet sich nicht nur ein schwerer Punkt, sondern alle, auch die kleinsten Theilchen desselben sind schwer. Wir werden uns daher das physische Pendel, als aus unzähligen mathematischen Pendeln bestehend, denken können, welche jedoch, je nachdem die schweren Punkte dem Aufhängepunkte näher oder ferner liegen, eine ungleiche Länge haben. Dieselben würden daher, wenn sie nicht fest mit einander verbunden wären, mit sehr ungleichen Geschwindigkeiten schwingen. Ist z. B. A, Fig. 60, ein dem Aufhängepunkte C sehr naher, B ein sehr ferner schwerer Punkt des physischen Pendels, so wird A raschere, B langsamere Schwingungen zu machen streben. Weil sie aber unter sich fest verbunden und daher genöthigt sind, gleichzeitig zu schwingen, so wird der Punkt B auf die schwingende Bewegung von A verzögernd, der Punkt A aber auf die Bewegung von B beschleunigend wirken. Aehnliches wird von den übrigen schweren Punkten des physischen Pendels gelten; die höher liegenden Punkte werden durch die tiefer liegenden in ihrer schwingenden Bewegung verzögert, die tiefer liegenden durch jene beschleunigt. Zwischen denselben muß es jedoch auch einen gewissen Punkt S geben, dessen schwingende Bewegung durch die Verbindung mit den übrigen Punkten weder beschleunigt, noch verzögert wird, und der ganz eben so schwingen würde, wenn die übrigen schweren Punkte gar nicht vorhanden wären, und er als der einzige schwere Punkt in dem Pendel existirte. Dieser Punkt, dessen schwingende Bewegung also durch die Verbindung mit den übrigen Punkten keine Aenderung erleidet, und der daher die oben für das mathematische Pendel angegebenen Gesetze befolgt, wird der **Schwingungspunkt**, und sein Abstand vom Aufhängepunkte C wird die **Länge** des physischen Pendels genannt.

(Fig. 60.)



Der Schwingungspunkt fällt nicht mit dem Schwerpunkte zusammen; er liegt z. B. bei einem gleichförmigen, an dem oberen Ende aufgehängten Stabe nicht in der Mitte, sondern ein Drittel vom unteren Ende. Man kann den Schwingungspunkt und die Länge eines jeden physischen Pendels annähernd finden, wenn man dasselbe in Schwingungen versetzt, neben demselben ein an einem Faden aufgehängtes Bleikügelchen schwingen läßt und den Faden so lange verlängert oder verkürzt, bis beide Pendel gleichzeitig schwingen. Die Länge des Fadens giebt sehr nahe die gesuchte Länge des physischen Pendels an. Braucht das Pendel zu einer Schwingung gerade eine Secunde Zeit, so findet man seine Länge, wie schon oben bemerkt, (ohngefähr) gleich $36^3/_4$ Zoll.

Dergleichen Abmessungen gewähren indeß nur einen geringen Grad von Genauigkeit; für den Physiker ist aber die genaue Kenntniß der Länge des Secundenpendels, d. h. eines Pendels, welches in der Stunde 3600 Schwingungen macht, aus Gründen, welche wir sogleich näher kennen lernen werden, von der äußersten Wichtigkeit. Zu dieser Kenntniß führt der merkwürdige Satz, daß an einem jeden Pendel sich der Aufhängepunkt und der Schwingungspunkt vertauschen lassen. Ist also C, Fig. 60, der Aufhängepunkt, S der Schwingungspunkt irgend eines physischen Pendels, und hat man die Schwingungen gezählt, welche das um den Punkt C schwingende Pendel in der

Stunde vollendet, so findet man, daß dasselbe, wenn man es um den Punkt S schwingen läßt, in der Stunde genau eben so viel Schwingungen macht.

Auf dieses Prinzip gründet sich das zuerst von dem Engländer Kater (ums Jahr 1815) zur genauen Ermittelung der Länge des Secundenpendels angewendete Reversionspendel, Fig. 61. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem mehrere Fuß langen Messingstabe aa', an welchem in dem ohngefähren Abstande von 37 Zoll zwei dreieckige Löcher b und b' angebracht sind, durch die zwei stählerne Schneiden hindurchgehen, um welche man das Pendel abwechselnd schwingen läßt. Um die Reibung möglich zu vermindern, dienen den Schneiden, beim Schwingen des Pendels um dieselben, Achatplatten zur Unterlage. Ganz nahe unter dem Rücken der einen Schneide b' ist ein einige Pfund schweres messingenes Gewicht befestigt, und außerdem sind an dem messingenen Stabe zwischen den beiden Schneiden noch zwei kleinere verschiebbare Gewichte c und c' angebracht. Man läßt nun dieses Pendel abwechselnd um die eine und die andere Schneide b und b' schwingen und verschiebt die Laufgewichte c und c' so lange, bis das Pendel um beide Schneiden in der Stunde eine genau gleiche Zahl von Schwingungen vollendet. Aus der Zahl der Schwingungen aber, welche dasselbe in der Stunde macht, erhält man die Dauer einer Schwingung mit großer Genauigkeit. Macht das Pendel z. B. in einer Stunde 2345 Schwingungen, so ist die Zeit einer Schwingung, da auf die Stunde 3600 Secunden kommen, gleich 1 und $^{1255}/_{2315}$ Secunden, oder im Decimalbruche 1,535 Secunden. Man vermag also ganz leicht die Dauer einer Schwingung bis auf eine Tausendstel Secunde genau zu bestimmen. Hat man aber so die Dauer einer Schwingung und die Länge dieses Pendels, d. h. den Abstand der beiden Schneiden b und b' von einander mit Genauigkeit gemessen, so wird man durch die zweite der über die Pendelschwingungen oben angegebenen Regeln auch in den Stand gesetzt, die Länge des Secundenpendels, d. h. eines Pendels, welches eine Schwingung genau in der Zeit einer Secunde vollendet, zu berechnen.

(Fig. 61.)



Ehe wir die wichtigen Folgerungen, zu denen die Abmessungen der Länge des Secundenpendels für verschiedene Gegenden der Erde geführt haben, näher erörtern, erwähnen wir noch kurz den allgemein bekannten Gebrauch, welchen man von dem Pendel zur genauen Abmessung der Zeit macht. Der holländische Physiker Huyghens hat zuerst in der Mitte des 17. Jahrhunderts diese Anwendung des Pendels gelehrt und im Jahre 1658 die erste Pendeluhr construirt. Da nehmlich die Schwere an dem nehmlichen Orte der Erde beständig dieselbe bleibt, so muß auch das Pendel fortwährend gleichzeitig schwingen. An einem sich selbst überlassenen Pendel werden durch die Reibung und den Widerstand der Luft die Schwingungsbogen allmählig mehr und mehr verkleinert, wenn auch die Zeitdauer derselben (fast) dieselbe bleibt, und das sich selbst überlassene Pendel muß daher endlich zur Ruhe kommen. Die an einer Pendeluhr angebrachten Gewichte dienen dazu, dem Pendel für diese Verluste Ersatz zu gewähren und dasselbe beständig im Gange zu erhalten.

Als der französische Astronom Richter im Jahre 1672 nach Cayenne in die Nähe des Aequators kam, fand er, daß die aus Paris mitgebrachte

Pendeluhr, welche in Paris vollkommen richtig ging, in Cayenne täglich $2^1/_2$ Minute zurückblieb; erst nachdem er das Pendel um $1^1/_4$ Linie verkürzt hatte, ging die Uhr wieder richtig. Verschiedene Größe der Schwere.

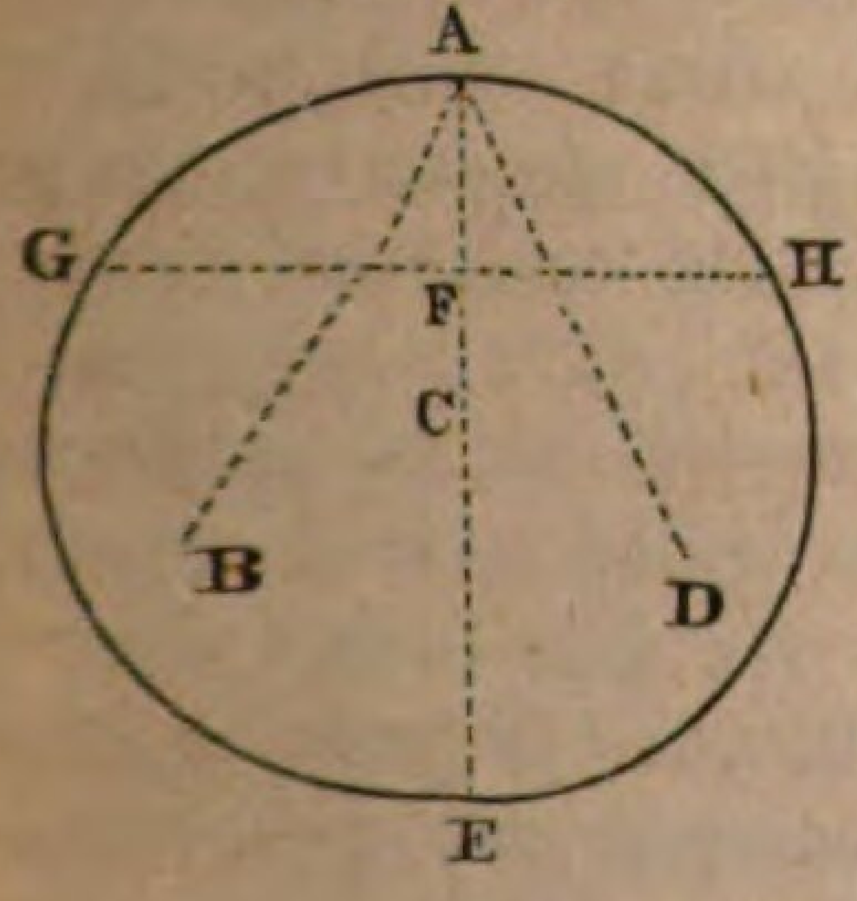
Ueberall auf der Erde nimmt nehmlich die Schwere nach dem Aequator hin ab, nach den Polen hin zu. Der Grund dieser Erscheinung, deren Kenntniß wir den Beobachtungen des Pendels und der Abmessung der Länge desselben verdanken, beruht theils auf der abgeplatteten Gestalt der Erde, in Folge deren die dem Aequator näheren Theile der Erdoberfläche von dem Mittelpunkte der Erde weiter entfernt sind, als die Gegenden in der Nähe des Poles, theils auf der mit der Axendrehung der Erde verbundenen Schwungkraft, welche der Schwere am Aequator am stärksten entgegenwirkt und dieselbe vermindert. In Folge dieser beiden Ursachen ist die Schwere am Aequator ohngefähr um $^1/_{300}$ kleiner, als in unserer Breite, und um $^1/_{200}$ kleiner, als am Pole.

Eine Last von 100 Pfund übt also am Aequator auf eine Unterlage nur einen ebenso großen Druck aus, als in unseren Gegenden eine Last von $99^2/_3$ Pfund. In demselben Verhältnisse müssen auch die Körper am Aequator im luftleeren Raum langsamer fallen, als in unseren Breiten oder am Pole. Es würde jedoch kaum möglich sein, diesen geringen Unterschied durch directe Messungen zu bestimmen. Wir verdanken vielmehr lediglich den Pendelbeobachtungen die Kenntniß der Abnahme der Schwere von den Polen nach dem Aequator hin. Eben so haben Beobachtungen von Pendelschwingungen gezeigt, daß die Schwere auf hohen Bergen etwas geringer, als im Thale ist.

Während wir den Beobachtungen des schwingenden Pendels die Kenntniß der ungleichen Größe der Schwere für verschiedene Gegenden der Erde verdanken, zeigt uns das ruhende Pendel die Richtung der Schwere an. Die Richtung der Schwere geht zwar im Allgemeinen nach dem Mittelpunkte der Erde hin; doch gilt dieses nicht ganz genau, da die Erde keine vollkommene Kugel ist. Außerdem wird auch durch die aus der Axendrehung der Erde hervorgehende Schwungkraft eine kleine Ablenkung von der Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde hervorgebracht, indem die Richtung der Schwungkraft zur Drehungsaxe senkrecht ist und daher nur am Aequator durch den Mittelpunkt der Erde geht, für alle anderen Gegenden der Erde aber hiervon abweicht. Richtung der Schwere.

Abgesehen von diesen nicht sehr beträchtlichen Abweichungen können wir annehmen, daß die Richtung der Schwere durch den Mittelpunkt geht. Wir haben uns jedoch die Schwere der Körper nicht als die Wirkung einer besondern, dem Mittelpunkte der Erde inwohnenden Kraft, sondern als die Folge der Anziehung vorzustellen, welche alle materiellen Theile der Erde auf die an der Oberfläche derselben befindlichen Körper ausüben. Daß die Schwere im Allgemeinen nach dem Mittelpunkte hin gerichtet ist, folgt einfach daraus, daß bei einer Kugel die Masse um den Mittelpunkt gleichförmig vertheilt ist. Ist z. B. B, Fig. 62, ein materieller Punkt im Inneren der Erde, welcher auf einen an der Oberfläche in A befindlichen Körper in der Richtung AB eine Anziehung ausübt, so entspricht demselben an der anderen Seite des Durchmessers AE ein materieller Punkt D, welcher genau dieselbe Lage wie der Grund der Schwere

(Fig. 62.)



Punkt B gegen AE hat. Aus den Anziehungen, welche beide materielle Punkte B und D auf A ausüben, ergiebt sich daher eine in die Linie AE fallende, also durch den Mittelpunkt C gehende, resultirende Kraft. Da nun ganz Aehnliches für alle anderen materiellen Punkte im Inneren der Kugel gilt, so muß folglich die Resultirende sämmtlicher Anziehungen, welche dieselben auf den Punkt A ausüben, durch den Mittelpunkt C gehen.

Obschon die Schwere abnimmt, wenn wir uns über die Oberfläche der Erde erheben, also vom Mittelpunkte entfernen, z. B. auf hohen Bergen geringer ist, als im Thale, so würden wir dagegen, wenn wir zur größeren Tiefe ins Innere der Erde einzudringen vermöchten, keineswegs finden, daß die Schwere mit der Annäherung an den Mittelpunkt zunimmt. Im Gegentheil würden wir finden, daß die Schwere sich vermindert, wenn wir uns dem Mittelpunkte nähern, und daß sie in diesem selbst gänzlich verschwindet. Denn wenn wir z. B. bis zur Tiefe F in das Innere eingedrungen wären, so würde nur noch die unter der zum Radius AC senkrechten Ebene GH liegende Masse der Erde abwärts, die oberhalb GH befindliche Masse dagegen aufwärts ziehend wirken, also durch die letztere Anziehung die erstere vermindert werden, und zwar offenbar um so mehr, je mehr wir ins Innere eindringen und uns dem Mittelpunkte nähern. Im Mittelpunkte selbst aber kann gar keine bestimmte Richtung der Anziehung vorwalten, weil die Masse der Kugel in diesem gleichförmig vertheilt ist, und es muß daher hier die Schwere gänzlich aufhören.

VI.

Anziehung in den kleinsten Fernen.

Wir haben uns im Vorhergehenden mit den verschiedenen Erscheinungen beschäftigt, welche feste, flüssige und luftförmige Körper in Beziehung auf Gleichgewicht und Bewegung darbieten. Die Ursache dieser Verschiedenheit beruht, wie wir gesehen haben, auf der verschiedenen Art des Zusammenhanges der Theile dieser Körper. Während die Theile der festen Körper sich nur schwer trennen und verschieben lassen, kann dieses bei den flüssigen und luftförmigen Körpern mit der größten Leichtigkeit geschehen, wozu bei den letzteren Körpern noch das Bestreben aller Theile, sich von einander zu entfernen, kommt, so daß dieselben, wenn nicht ein äußerer Druck diesem Bestreben entgegenwirkt, sich in einem größeren Raum ausdehnen. Alle drei Arten von Körpern, feste, flüssige und luftförmige, stimmen dagegen darin überein, daß sie schwer sind. Als Ursache der Schwere haben wir die Anziehung, welche die gesammte Masse der Erde auf die Körper ausübt, angegeben, indem wir nehmlich annehmen, daß alle materiellen Theile der Erde anziehend auf die an der Oberfläche derselben befindlichen Körper wirken. Wir wollen jetzt noch zeigen, wie sich diese Ansicht, welche wir bisher nur auf theoretische Gründe gestützt haben, auch durch directe Versuche bestätigen läßt.

Nun leuchtet wohl sogleich die große Schwierigkeit ein, mit der die Versuche verbunden sein müssen, welche zeigen sollen, daß ein Körper nicht blos von der gesammten Masse der Erde, sondern von irgend einem Theile, von einem anderen der Erde angehörigen Körper eine Anziehung erleidet. Denn wenn wir auch als den letzteren die größte Masse annehmen, über welche wir irgend verfügen können, so erscheint dieselbe doch als fast verschwindend klein gegen die ungeheure Masse der Erde, und dasselbe wird daher voraussichtlich auch von der Anziehung, welche diese Masse auf einen anderen Körper ausübt, gelten. Jedenfalls wird man einen Körper von einer möglichst großen Masse wählen müssen, um die anziehende Kraft desselben nachzuweisen. Als eine solche Masse dürfte sich daher am passendsten eine über die Erdoberfläche hervorragende Bergmasse darbieten.

Masse und Dichtigkeit der Erde.

In der That haben englische Physiker, Maskelyne und Hutton, um das Jahr 1775, indem sie ein Pendel zu beiden Seiten des Berges Shehallien an der Grenze von Schottland aufhingen und die Richtung desselben in beiden Fällen mit einander verglichen, gefunden, daß dieses Pendel beidemal etwas nach der Seite des Berges hin abgelenkt wurde, und also eine Anziehung von demselben erfuhr. Eine ohngefähre Abschätzung der Masse des Berges, die Entfernung des Mittelpunktes desselben von dem Pendel,

verglichen mit der Entfernung des Mittelpunktes der Erde, und die Größe der Ablenkung des Pendels von der lothrechten Linie, ließen dann noch weiter einen Schluß auf die Größe der Masse der Erde selbst machen. Aus den von den gedachten Physikern mit großer Sorgfalt angestellten Versuchen hat sich die Masse der Erde zu etwa 10 Quadrillionen Pfund und ihre mittlere Dichtigkeit 4,7 mal so groß, als die des Wassers ergeben.

Da diese Resultate sich wesentlich auf die Bestimmung der Masse des Berges stützen, letztere aber sich nur annähernd richtig abschätzen läßt, so können dieselben auch keine volle Sicherheit gewähren, und es kann daher nicht befremden, wenn spätere Versuche, bei denen die Anziehung großer Metallmassen mit der anziehenden Kraft der Erde verglichen wurde, von Cavendish 1797, von Reich 1837 und von Baily 1842 angestellt, ein abweichendes Ergebniß, nehmlich die mittlere Dichtigkeit der Erde 5,3 bis 5,7 mal so groß, als die des Wassers geliefert haben.

Darin stimmen jedoch sämmtliche Beobachtungen und Rechnungen überein, daß sie für die mittlere Dichtigkeit der Erde ein weit größeres Resultat ergeben, als den die Erdrinde hauptsächlich zusammensetzenden Felsarten zukömmt, welche im Mittel nur etwa ein dreimal größeres specifisches Gewicht, als Wasser haben, was denn zu dem in geologischer Hinsicht höchst wichtigen Schlusse nöthigt, daß die Erde im Inneren eine beträchtlich größere Dichtigkeit, als an der Oberfläche besitzt.

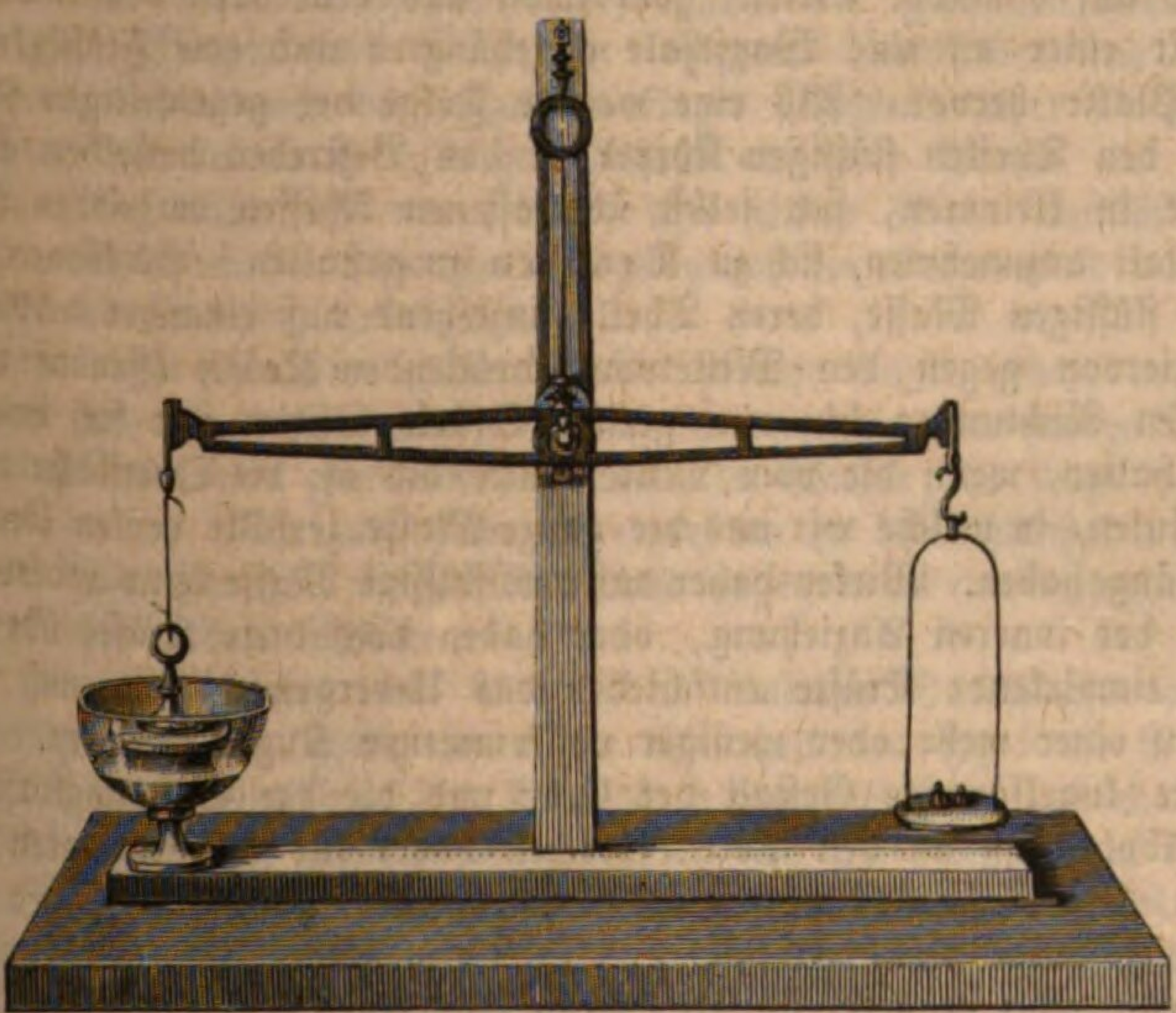
Anziehung. Die angegebenen Versuche führen uns zu der Annahme, daß Anziehung überhaupt eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, daß alle materiellen Körper sich gegenseitig anziehen, und daß die Schwere und die anziehenden Kräfte, mit denen die Himmelskörper auf einander wirken, als eine Folge dieser sämmtlicher Materie zukommenden Eigenschaft anzusehen sind; demgemäß werden wir weiter auch als höchst wahrscheinlich annehmen dürfen, daß die Kraft, mit welcher zwei Körper, nicht blos die Himmelskörper, sondern auch irgend zwei der Erde angehörige Körper sich anziehen, dem allgemeinen Gravitationsgesetze unterworfen ist, also im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung der Mittelpunkte beider sich anziehenden Massen steht. So wie daher diese Kraft mit der Entfernung sehr rasch abnimmt, so muß dieselbe auch eben so rasch bei verminderter Entfernung wachsen. Dennoch ist diese Anziehung auch bei den größten Massen, über welche wir verfügen können, und wenn wir diese bis auf den möglichst kleinsten Abstand einander nähern, so gering, daß sich dieselbe kaum durch die empfindlichsten Apparate, welche dem Physiker zu Gebote stehen, nachweisen läßt. Denn da die Mittelpunkte zweier Körper, von denen wir um größerer Einfachheit Willen annehmen wollen, daß dieselben eine kugelförmige Gestalt haben, bei der größten Annäherung, wenn die Kugeln einander berühren, doch noch um die Summe der Radien von einander abstehen, so können die gesammten Massen beider Kugeln immer nur mit einer verhältnißmäßig geringen Kraft auf einander anziehend wirken. Anders verhält es sich jedoch mit den sich unmittelbar berührenden kleinsten Körpertheilchen; wegen des äußerst kleinen Abstandes ihrer Mittelpunkte müssen sich dieselben, verglichen mit den weiter von einander abstehenden Theilchen, mit einer unverhältnißmäßig großen Kraft anziehen. Die gesammte Anziehung zwischen zwei Körpern muß daher wesentlich mit der Größe der Berührungsfläche wachsen.

Nun berühren sich feste, starre Körper immer nur in einzelnen Punkten; es ist gar nicht möglich, ganze Flächen derselben mit einander in Berührung

zu bringen; denn ihre Oberflächen stellen, wenn dieselben auch aufs sorgfältigste abgeschliffen und polirt worden sind, doch noch lange keine vollkommenen Ebenen dar. Zwischen zwei sich berührenden festen Körpern findet daher in den meisten Fällen nur eine geringe, unmerkliche Anziehung statt. Doch giebt es auch Erscheinungen, in denen sich diese Anziehung vollkommen deutlich zeigt, so z. B. in dem Anlegen der kleinen Staubtheilchen an die Wände und Decken der Zimmer und an andere Körper. Eben so beruht auf derselben das Schreiben mit Bleistift, Röthel oder Kreide. Die beim Schreiben sich ablösenden kleinen Theilchen des Schreibstifts bleiben vermöge der Anziehung an dem Material, auf welches geschrieben wird, haften.

Eine weit innigere Berührung, als zwischen zwei festen Körpern, findet im Allgemeinen zwischen einem flüssigen und einem mit demselben in Berührung gebrachten festen Körper statt. Es offenbart sich daher auch bei der Trennung derselben eine mehr oder weniger große Kraft, welche der Trennung beider Körper einen Widerstand entgegensetzt. Man kann diese Kraft messen, wenn man z. B. eine Glasplatte an einer Wagschale in horizontaler Lage aufhängt und mit Gewichten in der anderen Schale ins Gleichgewicht bringt, dann unter der Glasplatte ein Gefäß mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit, Fig. 63, so aufstellt, daß die Oberfläche eben von der

(Fig. 63.)



unteren Seite der Glasplatte berührt wird, und endlich in die andere Schale so lange Gewichte legt, bis die Platte von der Oberfläche der Flüssigkeit abgerissen wird.

Hierbei können jedoch zwei Fälle eintreten, entweder es bleiben Theile der Flüssigkeit an der Platte hängen, oder nicht. Das erstere ist z. B. der Fall, wenn die Glasplatte mit Wasser, das letztere, wenn sie mit Quecksilber in Berührung war. Nur im letzteren Falle geben die aufgelegten Gewichte die Kraft an, mit welcher die Platte vom Quecksilber festgehalten wurde, und die also zu überwinden war, um die Trennung zu bewirken.

In dem anderen Falle, in welchem Wassertheilchen an der Platte hängen blieben, war die Anziehung zwischen der Platte und dem Wasser stärker, als die Anziehung der Wassertheilchen unter sich; die Platte wurde nicht vom Wasser abgerissen, sondern das Wasser selbst wurde zerrissen.

Adhäsion und Cohäsion. Man nennt überhaupt die Kraft, mit welcher die Theile zweier sich berührenden Körper einander anziehen, Adhäsion und die Kraft, mit welcher die Theile des nehmlichen flüssigen oder festen Körpers sich gegenseitig anziehen, Cohäsion. Beide Kräfte dürften jedoch eigentlich nicht von einander verschieden sein; denn obschon bei festen Körpern im Allgemeinen die Cohäsion unvergleichlich größer ist, als die Adhäsion, so haben wir doch schon oben bemerkt, daß die Stärke der Anziehung wesentlich durch die Innigkeit der Berührung bedingt wird. Nun findet offenbar zwischen den Theilen des nehmlichen Körpers die allerinnigste, zwischen zwei festen Körpern aber in der Regel nur eine auf wenige Punkte beschränkte Berührung statt, woraus sich die große Ungleichheit beider Kräfte, der Cohäsionskraft, mit welcher die Theile des nehmlichen festen Körpers sich anziehen und unter sich zusammenhalten, und der Adhäsionskraft, mit welcher die Theilchen zweier sich berührenden festen Körper einander anziehen, hinreichend erklärt.

Flüssige Körper setzen nun zwar der Verschiebung oder Trennung ihrer Theile nur einen geringen Widerstand entgegen; daß dieselben aber ebenfalls anziehend auf einander wirken, geht schon aus dem oben beschriebenen Versuche mit einer an eine Wagschale angehängten und eine Flüssigkeit berührenden Platte hervor. Als eine weitere Folge der gegenseitigen Anziehung zwischen den Theilen flüssiger Körper ist das Bestreben derselben anzusehen, wenn sie in kleineren, sich selbst überlassenen Massen vorhanden sind, die Kugelgestalt anzunehmen, sich zu Tropfen zu gestalten. Es können nehmlich in einer flüssigen Masse, deren Theile anziehend auf einander wirken, die in Folge hiervon gegen den Mittelpunkt drückenden Kräfte offenbar nur dann nach allen Richtungen hin eine gleiche Stärke besitzen und sich das Gleichgewicht halten, wenn die vom Mittelpunkte bis an die Oberfläche reichenden Wassersäulen, in welche wir uns die ganze Masse zerfällt denken können, eine gleiche Länge haben. Wirken daher auf eine flüssige Masse keine anderen Kräfte, als die der inneren Anziehung, oder haben doch diese Kräfte über andere, zugleich einwirkende Kräfte entschieden das Uebergewicht, so muß sich diese Masse zu einer mehr oder weniger vollkommenen Kugel gestalten.

Die kugelförmige Gestalt der Erde und die der Schwungkraft entsprechende Abplattung an den Polen sprechen daher für die Richtigkeit der geologischen Ansicht, daß die gesammte Masse der Erde sich früher in einem flüssigen Zustande befunden hat.

Wenn eine größere flüssige Masse auf einer Unterlage ruht, so wird durch den beträchtlichen Druck, welchen die oberen Theile vermöge ihrer Schwere auf die unteren ausüben, ein Auseinanderfließen bewirkt. Ist aber die flüssige Masse nur klein, so gestaltet sie sich auch jetzt noch zu einem Tropfen, wenn die Adhäsion zwischen der festen Unterlage und der Flüssigkeit gegen die Cohäsionskraft, mit welcher die Theile des Flüssigen sich anziehen, nur gering ist, wie dieß z. B. bei Quecksilber und Glas der Fall ist; die flüssige Masse fließt dagegen auseinander, wenn zwischen derselben und dem festen Körper eine starke Adhäsion stattfindet, wie z. B. bei Wasser und Glas.

Ueberhaupt zeigen die mannigfaltigen auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern beruhenden Erscheinungen eine wesentliche Verschieden-

heit, je nachdem diese Adhäsion die Cohäsionskraft der Theile des Flüssigen übertrifft oder von derselben übertroffen wird. So ziehen wir z. B. einen Glasstab aus Wasser, in welches wir denselben getaucht haben, benetzt, aus Quecksilber dagegen unbenetzt hervor, weil in ersterem Falle die Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper, in letzterem die Cohäsion, mit welcher die Theile des flüssigen Körpers zusammenhalten, überwiegt. Diese Verschiedenheit wird jedoch nicht bloß durch die Natur des flüssigen Körpers, Wasser oder Quecksilber, bedingt, sondern sie hängt auch von der Beschaffenheit des mit jenem in Berührung gebrachten festen Körpers ab. So werden z. B. sehr viele Metalle, Gold, Silber, Kupfer, Blei u. a. m., von Quecksilber benetzt, (nicht Platin und Eisen); andererseits bleiben fettige Körper von Wasser unbenetzt, wie man schon daran sieht, daß Wasser, auf eine fettige Unterlage ausgegossen, sich zu Tropfen gestaltet.

Indem die Vögel, besonders die Schwimmvögel, ihre Federn mit einer öligen Flüssigkeit, welche eine am Ende des Rückens liegende Drüse absondert, tränken, indem sie in diese den Schnabel tauchen und mit demselben die Federn bestreichen, bilden diese auch beim Schwimmen auf dem Wasser eine für dasselbe undurchdringliche Hülle.

Wählen wir als Repräsentanten für das verschiedene Verhalten, welches flüssige und feste Körper bei der Berührung zeigen, je nachdem die Adhäsion zwischen beiden oder die Cohäsion der Theile des Flüssigen überwiegt, in ersterem Falle Wasser und Glas, in letzterem Quecksilber und Glas, so werden wir weiter noch die folgenden kürzer gefaßten, aber für das angezeigte Verhältniß überhaupt giltigen Gesetze aufstellen können.

Quecksilber läßt sich viel leichter aus einem Glase ausschütten, als Wasser, welches sich bei schwacher Neigung an der Außenwand des Glases, an welcher es adhärirt, herabzieht.

Wasser steht in einem gläsernen Gefäße am Rande höher, in der Mitte tiefer, und hat also eine concave, Quecksilber dagegen eine convexe Oberfläche.

Taucht man ein gläsernes Röhrchen in Wasser, so steigt dasselbe in demselben in die Höhe und zwar zu einer um so beträchtlicheren Höhe, je enger das Röhrchen ist. Quecksilber steht dagegen in einem engen Röhrchen niedriger, als in dem Gefäße. *Capillarität.*

In einem Röhrchen von einer Linie innerem Durchmesser erhebt sich das Wasser etwa $^1/_2$ Zoll, in einem Röhrchen von $^1/_2$ Linie Durchmesser 1 Zoll über die Oberfläche des Wassers in dem Gefäße. Ueberhaupt wächst diese Höhe nach den Untersuchungen von Gay-Lüssac in dem nehmlichen Verhältnisse, in welchem der Durchmesser des Röhrchens abnimmt.

Da die zu diesen Versuchen angewendeten Röhrchen gewöhnlich sehr eng sind, so daß der innere Durchmesser derselben den eines Haares nicht übertrifft, so nennt man diese Röhrchen gewöhnlich Haarröhrchen und das Princip, auf welchem die Erscheinungen beruhen, welche dergleichen enge Röhrchen zeigen, die Capillaranziehung oder Capillarität.

Auf diesem Princip beruhen eine Menge bekannter Erscheinungen. Poröse Körper, wie Schwamm, Löschpapier, trockenes Holz u. dgl. m. saugen Wasser ein, indem dieses in den Canälen, welche die Poren derselben bilden, gleich wie in Haarröhrchen emporsteigt. Eben so gehört hierher das Feuchtwerden einer Mauer, welche auf nassem Boden steht, das Aufsteigen des Oeles oder geschmolzenen Talges im Dochte, das Abwischen des Schweißes mit einem Tuche u. a. m. Der Spalt in der Feder, mit welcher wir

schreiben, bewirkt, daß die Dinte sich längs der Ränder desselben bis zur Spitze hinzieht und zugleich mit dieser beim Schreiben unausgesetzt das Papier berührt.

Die Capillaranziehung ist nicht selten mit beträchtlicher Kraftäußerung verbunden. Wenn stark angespannte gewundene Seile befeuchtet werden, so dehnen sie sich in die Dicke aus und verkürzen in Folge hiervon ihre Länge mit einer Kraft, durch welche große Lasten gehoben werden können. — Felsen können auf die Art gesprengt werden, daß man in die Spalten derselben Keile von trockenem Holze treibt und hierauf anfeuchtet, wodurch dieselben ausgedehnt werden und die Felsen auseinander reißen.

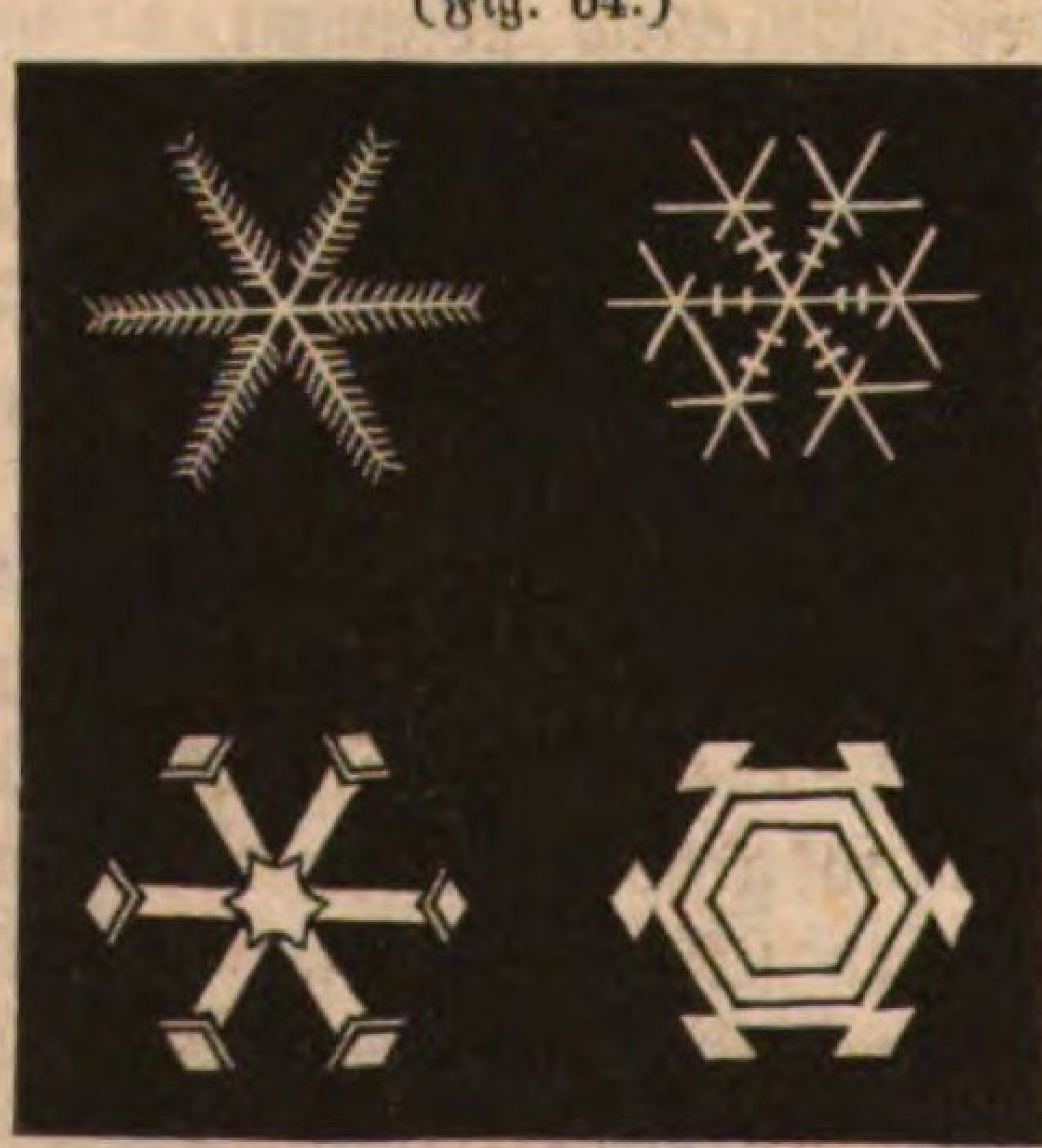
Andererseits benutzen wir die Kraft, mit welcher die Theilchen sich innig berührender Körper einander anziehen, um Körper fest mit einander zu verbinden, z. B. beim Leimen. Da nehmlich, wie schon oben bemerkt, zwischen zwei festen Körpern, welche wir mit einander in Berührung bringen, immer nur eine sehr schwache Adhäsion vorhanden ist, weil die Berührung nur in einzelnen Punkten stattfindet, so bringen wir zwischen die zu verbindenden festen Körper den flüssigen Leim, welcher sich innig an die festen Körper anlegt und auch nach dem Erstarren diese innige Berührung beibehält. Es beruht daher die Festigkeit der Verbindung zusammengeleimter Körper auf der Adhäsion zwischen dem Leim und jedem dieser beiden Körper und auf der Cohäsion der Theile des Leims unter sich. Aehnliches gilt vom Kitten und Löthen.

Wenn ein fester Körper aus der Auflösung in einer Flüssigkeit allmählig ausgeschieden wird, so können die sich ablagernden kleinen Theilchen eben wegen ihrer Kleinheit mit einander in so innige und vollständige Berührung treten, daß hierdurch feste Bildungen entstehen, wie dieß z. B. bei den galvanoplastischen Arbeiten der Fall ist. Aehnliches gilt von der Vergoldung und Versilberung, bei welcher die Gold- oder Silbertheilchen vermöge der Adhäsion an dem zu vergoldenden oder versilbernden Körper fest haften.

Krystallisation.

Die Anziehung zwischen den kleinsten Körpertheilchen äußert sich bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand noch weiter in einer höchst merkwürdigen Weise dadurch, daß die kleinsten Theilchen sich in bestimmten Gruppirungen aneinander legen, wodurch die regelmäßigen Gestalten hervorgehen, welchen wir den Namen **Krystalle** beilegen. Die würfelförmigen Krystalle des Kochsalzes, die säulenförmigen Krystalle des Kandiszuckers bieten sehr bekannte Beispiele dar. Die Neigung des Zuckers, aus Auflösungen zu krystallisiren, ist so groß, daß dieselbe beim Hutzucker durch beständiges Umrühren verhindert werden muß. Beim Kandiszucker befördert man dieselbe dagegen durch Einführen von Fäden, indem die Krystalle sich gern an feste Körper anlegen. Aus gleichem Grunde pflegen beim Zufrieren der Gewässer die ersten Eiskrystalle an den Ufern oder im Wasser hervorragenden Steinen oder Pfählen anzuschießen. In Folge dieser Neigung des Wassers zur Krystallisation zeigen die Schneeflocken besonders bei strenger Kälte regelmäßige sternförmige Gestalten, von

(Fig. 64.)



denen Fig. 64 einige Beispiele darstellt. Eben so legt sich der Reif an die Zweige der Bäume, an die vertrockneten Grashalme, ferner die sich niederschlagenden und zu Eis erstarrenden Dämpfe an die Fenster unserer Wohnungen in feinen regelmäßig gruppirten Nadeln an.

Um die Bildung der Krystalle zu beobachten, eignen sich besonders solche Salze, welche im heißen Wasser in größerer Menge, als im kalten Wasser löslich sind. In zwei Loth kochend heißem Wasser lassen sich 4 Loth Salpeter auflösen. Läßt man diese Auflösung allmählig erkalten, so sieht man den größten Theil des aufgelösten Salpeters in säulenförmigen Krystallen anschießen, indem 2 Loth kaltes Wasses nur ohngefähr $^1/_2$ Loth Salpeter aufzulösen vermögen. Die Krystalle fallen jedoch bei einer weniger concentrirten Auflösung, wenn man in 2 Loth kochendem Wasser nur etwa 2 oder 3 Loth Salpeter auflöst, schöner aus. — Krystalle können nicht bloß erhalten werden, wenn aufgelöste Substanzen aus ihren Auflösungen beim Erkalten oder bei Verdunstung der Flüssigkeit ausgeschieden werden. Auch wenn in der Wärme geschmolzene Substanzen bei der Abkühlung erstarren, findet häufig Krystallisation statt.

Wenn man Schwefel oder metallisches Wismuth in einem Tiegel schmilzt, die geschmolzene Masse so weit erkalten läßt, daß die oberste Kruste erstarrt ist, diese dann durchstößt und die innere noch flüssige Masse ausschüttet, so sieht man, daß beim Erstarren der Schwefel im Inneren in nadelförmigen, das Wismuthmetall in würfelförmigen Krystallen angeschossen ist.

Die auf künstlichem Wege dargestellten Krystalle werden jedoch an Schönheit, besonders aber in der Größe von den in der Natur gebildeten Krystallen der Edelsteine und anderer Mineralien übertroffen. In Höhlen auf Madagaskar werden in der Gestalt von regelmäßigen sechsseitigen Säulen durchsichtige Bergkrystalle im Gewichte von mehreren Centnern angetroffen.

In genauem Zusammenhange mit der äußeren regelmäßigen Gestalt der Krystalle steht die innere Struktur derselben, die Anordnung ihrer kleinsten Theile, welche sich bei den meisten Krystallen in der Eigenschaft zeigt, daß sich dieselben mit mehr oder weniger Leichtigkeit nach bestimmten Richtungen spalten lassen. Im ausgezeichnetsten Maaße zeigt diese Eigenschaft ein sehr verbreitetes Mineral, der Kalkspath, welcher sich äußerst leicht nach drei verschiedenen Richtungen spalten läßt, wodurch sechsflächige Körper hervorgehen, welche die Gestalt eines verschobenen Würfels, Fig. 65, eines sogenannten Rhomboeders, haben. Wir werden auf dieses auch in optischer Hinsicht ausgezeichnete Mineral noch weiter unten zurückkommen.

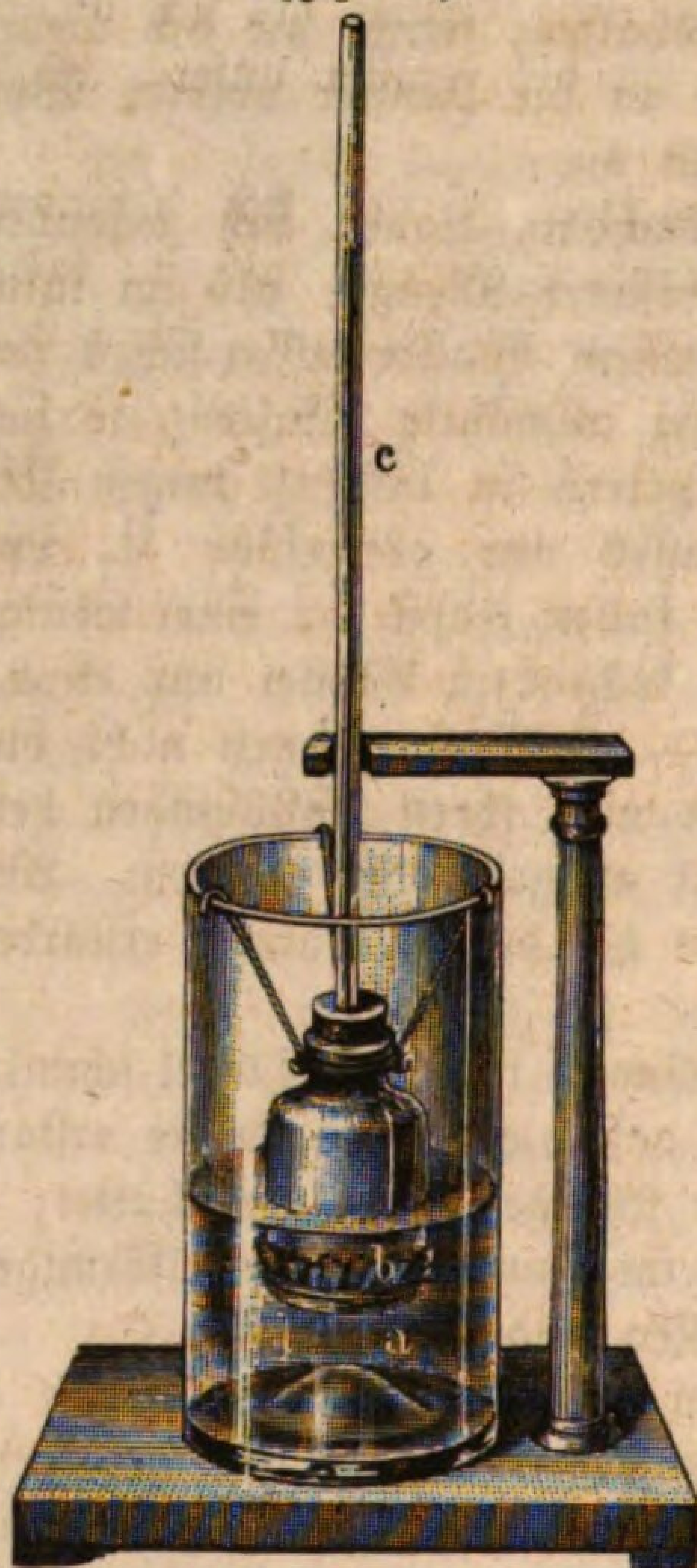
(Fig. 65.)



Eine andere Gruppe merkwürdiger Erscheinungen, welche ebenfalls auf der Anziehung der sich unmittelbar berührenden kleinsten Körpertheilchen beruht, geht hervor, wenn zwei Flüssigkeiten, welche eine Neigung besitzen, sich zu mischen, durch eine poröse Scheidewand getrennt sind. Zur bequemen Beobachtung dieser Erscheinung, welcher man den Namen Endosmose giebt, dient der in Fig. 66 abgebildete Apparat. Endosmose

Ein unten offenes gläsernes Gefäß b, welches sich oben in einen Hals verengt, wird unten mit einer Blase überbunden, oben aber wird vermittelst eines durchbohrten Korkes in dem Halse eine lange gläserne Röhre angebracht. Füllt man nun dieses Glas etwa mit Weingeist oder mit Wasser,

(Fig. 66.)



welches Zucker, Kochsalz oder irgend eine andere Substanz aufgelöst enthält, und hängt dasselbe in einem weiteren, mit reinem Wasser gefüllten Gefäße a in der Art auf, daß die Flüssigkeiten in beiden Gefäßen eine gleiche Höhe haben, so sieht man gegen das Gesetz der communicirenden Röhren die Flüssigkeit im äußeren Gefäße fallen, im inneren Gefäße aber und in der Röhre zu einer beträchtlichen Höhe emporsteigen. Die Flüssigkeit stellt sich dagegen im inneren Gefäße niedriger, als im äußeren, wenn man die Anordnung des Versuches umkehrt und in das innere Gefäß Wasser, in das äußere Weingeist oder die Auflösung einer festen Substanz in Wasser bringt. Untersucht man beide Flüssigkeiten, so findet man, daß nicht bloß Wasser nach dem Spiritus oder der Zucker- oder Salzlösung durch die Blase sich bewegt hat, sondern daß auch umgekehrt Spiritus oder Zucker- oder Salzlösung zum Wasser durch die Blase übergegangen ist; allein der ungleiche Stand der Flüssigkeiten zeigt, daß dieser Uebergang in sehr ungleichem Maaße erfolgt ist.

Diese seit 1822 besonders von Dütrochet und weiterhin von anderen Physikern studirte Erscheinung, deren Gesetze jedoch bis jetzt mit voller Bestimmtheit noch nicht ermittelt sind, dürfte ohne Zweifel auf einer ungleichen Anziehung beruhen, welche die Theile der porösen Blase auf die verschiedenen Flüssigkeiten, welche sich zu beiden Seiten derselben befinden, ausüben, in Folge dessen die eine Flüssigkeit leichter und reichlicher, als die andere hindurchgelassen wird.

Ein ähnliches Verhalten, wie thierische Blasen und Häute, zeigen auch vegetabilische Membranen, ferner Thon und andere poröse Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maaße.

Die hier erörterten Erscheinungen der Endosmose sind darum von ganz besonderer Wichtigkeit, weil mit denselben die Fortbewegung der Säfte in den Pflanzen und zum Theil auch in thierischen Körpern im engsten Zusammenhange steht, wovon in einem folgenden Theile dieses Werkes ausführlicher gehandelt werden wird.

Absorption. Im Vorhergehenden ist nur die Rede gewesen von der Anziehung zwischen den sich berührenden kleinsten Theilen fester und flüssiger Körper. Es kann jedoch keinem Zweifel unterliegen, daß auch die luftförmigen Körper von den festen und flüssigen Körpern, mit denen sie in Berührung kommen, eine Anziehung erleiden. In Folge hiervon müssen die luftförmigen Körper an der Oberfläche der festen und flüssigen Körper eine größere Dichtigkeit, als in weiterer Ferne von denselben besitzen; das Nehmliche muß auch von den in die Poren dieser Körper aufgenommenen Lufttheilchen gelten. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß poröse Körper, z. B. Kohle, beträcht-

liche Mengen Luft in ihre Poren aufnehmen, absorbiren, wobei sie sich gewöhnlich in Folge der Verdichtung der aufgenommenen Luft erwärmen.

Eben so nehmen auch Flüssigkeiten von Gasen, welche mit der Oberfläche derselben in Berührung kommen, mehr oder weniger große Mengen in ihren Poren auf. Ein Maaß Wasser absorbirt z. B. ein Maaß Kohlensäuregas, aber nur $^1/_{27}$ Maaß Sauerstoff und $^1/_{40}$ Maaß Wasserstoffgas. Andere, noch viel auffallendere Beispiele wird weiter unten der chemische Theil liefern. — Das aus der atmosphärischen Luft vom Wasser absorbirte Sauerstoffgas ist für die in dem Wasser lebenden Thiere von der größten Wichtigkeit, indem es dazu dient, den Athmungsprozeß derselben zu unterhalten. — Will man das Wasser von Luft gänzlich befreien, so muß man dasselbe auskochen; nach längerem Stehen an der Luft nimmt es jedoch von dieser wieder in seinen Poren auf. Beides gilt eben so vom Quecksilber, wie wir schon oben gelegentlich beim Barometer erwähnt haben.

VII.

Der Schall.

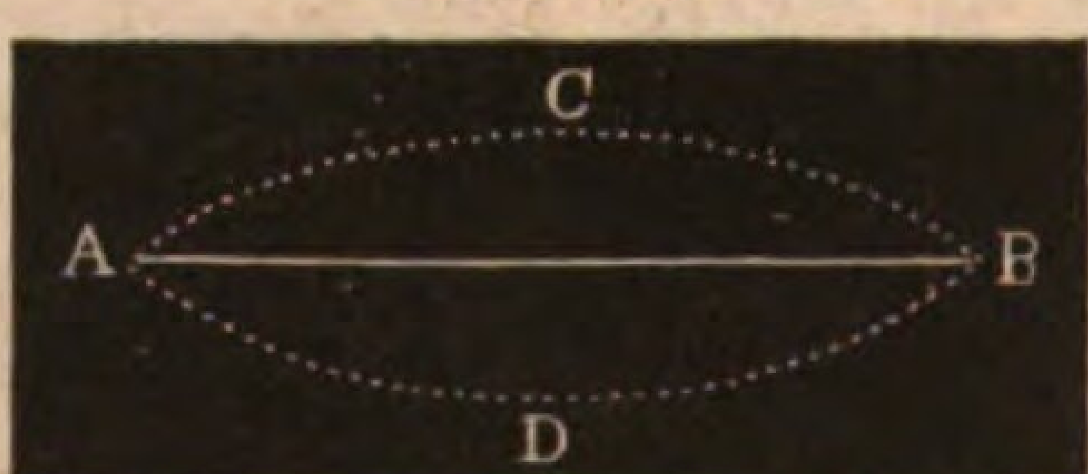
Wenn wir das bisher durchlaufene Gebiet noch einmal überblicken, so lassen sich die Wirkungen der verschiedenartigen Naturkräfte, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, in das eine Wort **Bewegung** zusammenfassen. Auch in dem Theile der Physik, welcher die Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme umfaßt, und in den wir jetzt eintreten, haben wir es wieder mit den durch gewisse Naturkräfte hervorgebrachten Bewegungen zu thun; allein es sind nicht mehr diese Bewegungen selbst, welche unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen; es sind vielmehr die Einwirkungen derselben auf den Sinn des Gehörs, des Gesichtes und des Gefühls, um deren Willen hauptsächlich wir diese Bewegungen studiren.

Wenn uns die Erfahrung selbst darüber belehrt, daß der Schall durch die schwingende Bewegung elastischer Körper hervorgerufen wird, so ist es eine auf Gründen der höchsten Wahrscheinlichkeit beruhende Hypothese, daß auch das Licht, welches unser Auge wahrnimmt, seine Entstehung der Erzitterung der kleinsten Theile der leuchtenden Körper verdankt, und die große Analogie zwischen den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme, welche wir weiter unten kennen lernen werden, läßt die Vermuthung als naheliegend erscheinen, daß auch die durch ihre mannigfaltigen Wirkungen so ausgezeichnete Wärme einen gleichen Ursprung hat.

Da wir die Schwingungen, welche unser Ohr als Schall empfindet, unmittelbar mit dem feineren Sinne des Gesichts wahrzunehmen vermögen, so bieten sich diese von selbst als die natürlichste und zuverlässigste Grundlage für unsere Untersuchungen über die hypothetischen Vibrationen dar, durch welche die Erscheinungen des Lichtes oder der Wärme hervorgerufen werden.

Schwingende Saiten. Wir wählen als das einfachste Beispiel eines tönenden Körpers eine gespannte Saite. Sich selbst überlassen nimmt dieselbe die Lage einer geraden Linie an. Aus dieser Lage durch irgend eine Kraft, z. B. durch einen Zug mit der Hand, in die Lage ACB, Fig. 67, gebracht, kehrt sie, so wie sie wieder frei gelassen wird, vermöge ihrer Elasticität in die Lage der geraden Linie zurück; sie nähert sich dieser Lage mit zunehmender Geschwindigkeit, und indem sie, in der geradlinigen Lage angekommen, die größte Geschwindigkeit hat, überschreitet sie diese Lage nach dem Trägheitsgesetze; sie fährt fort sich zu bewegen bis in die Lage ADB, in welcher sie, wenn ihrer Bewegung keine Hindernisse entgegenständen und die Saite vollkommen elastisch wäre, jetzt eben so viel,

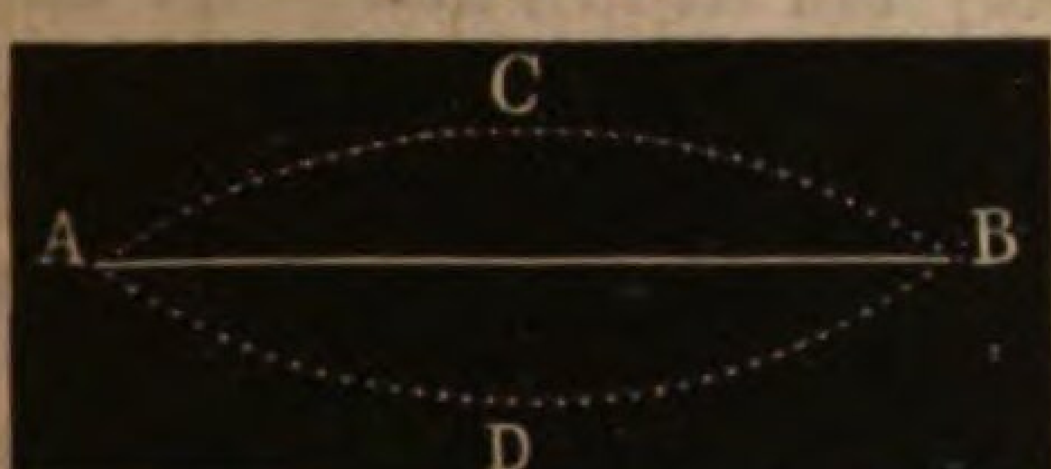
(Fig. 67.)



als ACB an der anderen Seite von der geraden Linie abweichen würde. Aus der Lage ADB kehrt sie dann aus gleichen Gründen in die Lage ACB zurück, und sie würde so fortfahren ohne Aufhören hin und her zu schwingen, wenn ihre Elasticität eine vollkommene wäre und die Luft der schwingenden Bewegung der Saite keinen Widerstand leistete. Weil aber diese Bedingungen niemals vollständig erfüllt sind, so werden die Schwingungen der Saite allmählig immer kleiner, bis sie endlich ganz aufhören.

Das eben Ausgesprochene erinnert an das Pendel, von welchem wir früher ganz Aehnliches vorgetragen haben, nur daß die Ursache der Bewegung dort auf der Schwere, hier auf der Elasticität beruht. Die schwingende Saite stimmt auch noch wesentlich in dem merkwürdigen und wichtigen Umstande mit dem Pendel überein, daß die Dauer einer Schwingung von der Größe derselben (fast) unabhängig ist. — Wie wir gleich weiter sehen werden, wächst mit der Schnelligkeit der Schwingungen die Höhe des Tones. Wenn wir eine Saite anschlagen, so wird zwar der Ton allmählig schwächer, indem die Schwingungen der Saite immer kleiner werden, aber die Höhe des Tones bleibt, so lange wir ihn noch wahrzunehmen vermögen, unverändert dieselbe. Diese allgemein bekannte Erfahrung liefert uns den Beweis, daß auch die immer kleiner werdenden Schwingungen der Saite die nehmliche Zeitdauer haben, wie die ursprünglichen größeren Schwingungen.

(Fig. 68.)



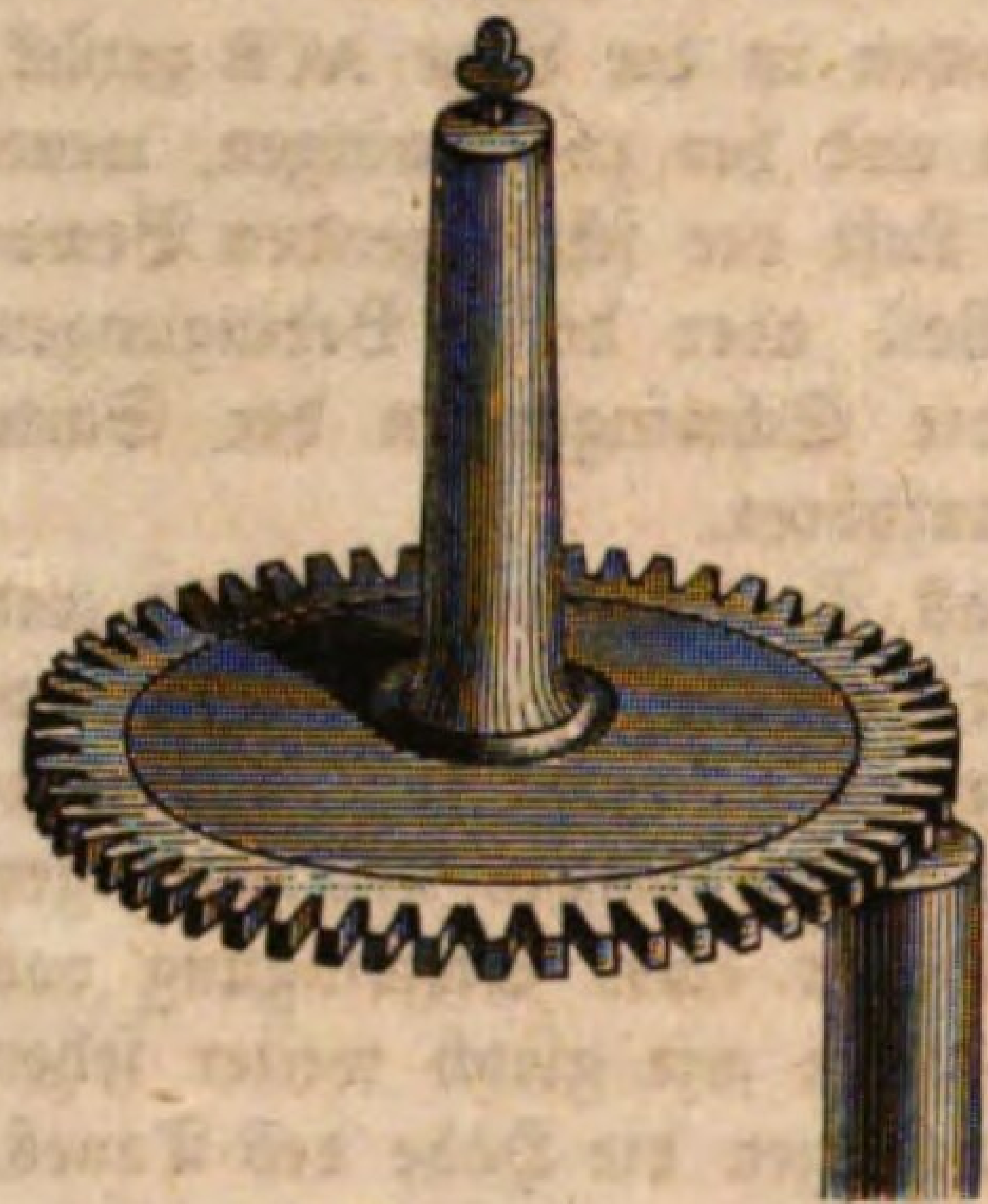
Den Hin- und Hergang der Saite aus der Lage ACB in die Lage ADB und wieder zurück in die Lage ACB pflegt man mit dem Namen einer Schwingung zu bezeichnen. Die Bewegung aus der Lage ACB, Fig. 68, in die Lage ADB oder aus der Lage ADB in die Lage ACB wird eine halbe Schwingung genannt. Eine ganze Schwingung besteht also aus der Summe dieser beiden Bewegungen.

Außer den Saiten sind es vorzüglich elastische Stäbe, ferner Scheiben oder Glocken, und in den Blasinstrumenten die Luft, welche in der Musik zur Hervorbringung von Tönen benutzt werden. Bei allen diesen Körpern werden die Schwingungen durch die Elasticität derselben unterhalten.

Je nachdem nun die einen Schall erzeugenden Schwingungen gleichförmig oder ungleichförmig erfolgen, bezeichnen wir denselben als Ton oder Geräusch. An einem Tone berücksichtigen wir aber vorzugsweise die Höhe und Tiefe. Ein Ton ist um so höher, je größer die Zahl der Schwingungen ist, welche er in der nehmlichen Zeit vollendet. Jedem Ton kommt eine bestimmte Schwingungszahl für die Secunde zu. Tonhöhe. Schwingungszahl.

Um diese zu ermitteln, eignet sich besonders eine von Caignard de la Tour erfundene Vorrichtung, welche den Namen Sirene führt. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer am Rande mit Einschnitten versehenen Scheibe, Fig. 69, welche um eine senkrechte Axe drehbar ist. Unterhalb der Scheibe befindet sich in der Nähe deß gezähnten Randes eine Röhre, in deren oberem, dicht unter der drehbaren Scheibe befindlichem Boden eine längliche Oeffnung angebracht ist, welche bei der Umdrehung der Scheibe, je nachdem eine Zacke oder eine Lücke des gezähnten Randes über sie hinweg geht, abwechselnd geöffnet und geschlossen wird. Wenn man nun durch die Röhre vermittelst einer Windlade einen Luftstrom treibt, so vernimmt man bei Umdrehung der Scheibe einen Ton, welcher um so höher ausfällt, je rascher

(Fig. 69.)



die Umdrehung der Scheibe erfolgt. Aus der Zahl dieser Umdrehungen in der Secunde und der Zahl der am Rande der Scheibe angebrachten Einschnitte ergiebt sich aber, wenn man diese Zahlen mit einander multiplicirt, wie oft in der Secunde die Oeffnung in der oberen Bodenplatte der Röhre geschlossen und geöffnet wird, wie oft also der Luft der Austritt aus der Röhre gestattet und wieder abgesperrt wird. Wären z. B. am Rande der Scheibe 50 Einschnitte angebracht und machte dieselbe in der Secunde 10 Umläufe, so würde sich hieraus für den unter diesen Umständen vernommenen Ton die Schwingungszahl 500 für die Secunde ergeben.

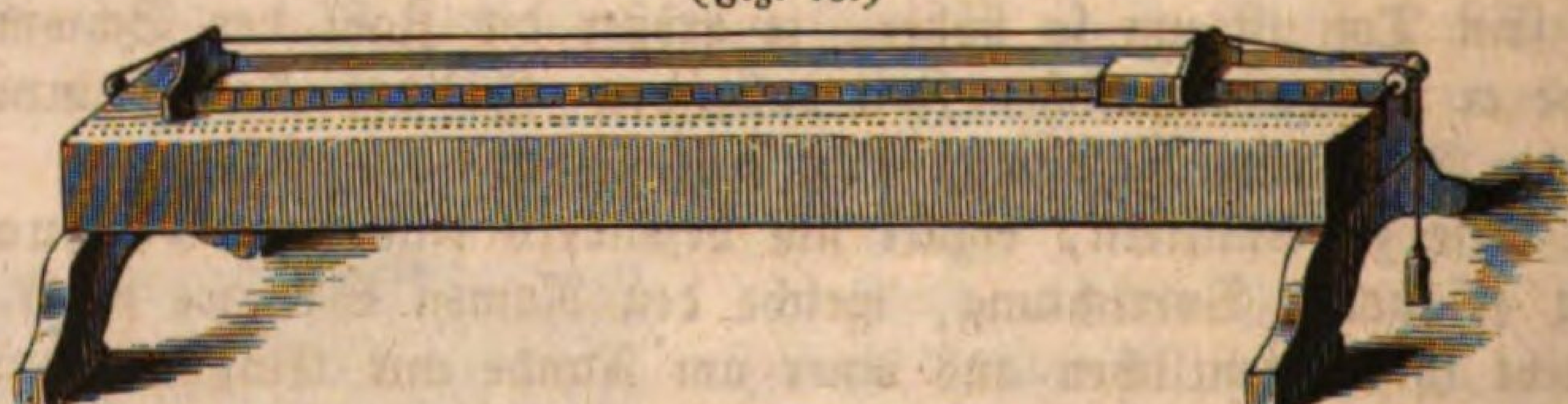
Indem die Umdrehungsgeschwindigkeit so lange vermehrt oder vermindert wird, bis der hervorgebrachte Ton mit dem Tone irgend eines bestimmten Instrumentes vollkommen harmonirt, so wird man durch das angezeigte Verfahren in den Stand gesetzt, die diesem Tone entsprechende Schwingungszahl zu ermitteln. Man hat auf diese Art gefunden, daß dem tiefsten in der Musik gebräuchlichen Tone, welchen eine 32füßige Orgelpfeife giebt, 16 Schwingungen in der Secunde zukommen. Auf den tiefsten überhaupt wahrnehmbaren Ton kann man nach Savart etwa 7, auf den höchsten 24,000 Schwingungen rechnen. Diese Zahlen sind jedoch natürlich nur als ohngefähre Angaben anzusehen, da die Grenze der Wahrnehmbarkeit für verschiedene Ohren sehr ungleich liegen kann.

Dem tiefsten in der Musik gebräuchlichen Tone, welchen eine beiderseits offene Pfeife von 32 Fuß Länge giebt, kommen, wie schon bemerkt, (ohngefähr) 16, dem a der Stimmgabeln 440 Schwingungen in der Secunde zu.

Tonverhältnisse.

In der Musik unterscheidet man acht Tonverhältnisse, deren Aufeinanderfolge dem Ohre eine gewisse Befriedigung gewährt. Die Namen derselben sind **Grundton**, **Secunde**, **Terz**, **Quart**, **Quinte**, **Sexte**, **Septime** und **Octave**. Um das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen zu ermitteln, genügt schon eine höchst einfache Vorrichtung, welche den Namen **Monochord** führt, Fig. 70, und aus einer über einen Resonanzboden und

(Fig. 70.)



durch ein Gewicht gespannte Saite besteht, deren schwingender Theil sich durch einen beweglichen Steg beliebig verkürzen läßt. Je größer das die Saite spannende Gewicht ist, um so höher ist auch der Ton, welchen dieselbe giebt. Bei ungeänderter Spannung wird aber der Ton um so mehr erhöht, je mehr der schwingende Theil der Saite verkürzt wird.

Wenn man eine sehr lange und ganz schwach gespannte und daher nur sehr langsam schwingende Saite in Schwingungen versetzt und die Schwin-

gungen derselben zählt, dann die Saite bei ungeänderter Spannung auf die Hälfte, auf den dritten Theil verkürzt, so findet man, daß dieselbe jetzt doppelt, dreimal so viel Schwingungen macht. Ueberhaupt nimmt die Zahl der Schwingungen einer Saite, wenn ihre Spannung dieselbe bleibt, im umgekehrten Verhältniß der Länge zu.

Wenden wir das eben Gesagte auf das Monochord an; nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Saite giebt, den Grundton, so vernehmen wir, wenn wir die Saite auf die Hälfte verkürzen, die Octave dieses Tones. Zwischen Grundton und Octave findet also das Verhältniß statt, daß die Octave in der Secunde doppelt so viel Schwingungen macht, als der Grundton. Verkürzen wir weiter die Saite um ein Drittel ihrer Länge, so daß also noch zwei Drittel derselben schwingen, so vernehmen wir jetzt die Quinte. War also der Grundton C, so hören wir jetzt G. Die Schwingungszahl der Quinte (G) verhält sich hiernach zur Schwingungszahl des Grundtons wie 3 zu 2. Verkürzen wir die Saite um $^1/_5$ ihrer Länge und lassen also jetzt $^4/_5$ schwingen, so erhalten wir die Terz (E); es verhält sich daher die Schwingungszahl der Terz zu der des Grundtons wie 5 : 4.

Man sieht nun bald, wie sich auf diesem Wege fortfahrend für alle anderen innerhalb der Octave liegenden Töne das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen zum Grundtone ermitteln läßt. Nehmen wir für diesen, um Brüche zu vermeiden, die bequeme Zahl 24 an, und bezeichnen wir den Grundton mit C, so erhalten wir für die Schwingungen der auf einander folgenden Töne der Octave folgende leicht zu überblickende Zahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24,	27,	30,	32,	36,	40,	45,	48.

Vergleicht man diese Töne und die zugehörigen Zahlen mit einander, so findet man, daß zwei Töne consoniren, wenn das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen sich durch kleine Zahlen ausdrücken läßt, und daß dieselben dissoniren, wenn dieses nicht der Fall ist. So bieten z. B. die drei Töne Grundton, Terz, Quinte, deren Schwingungsverhältniß durch die Zahlen 4, 5, 6 ausgedrückt werden kann, eine Folge consonirender Töne, welche in der Musik der große Dreiklang genannt wird.

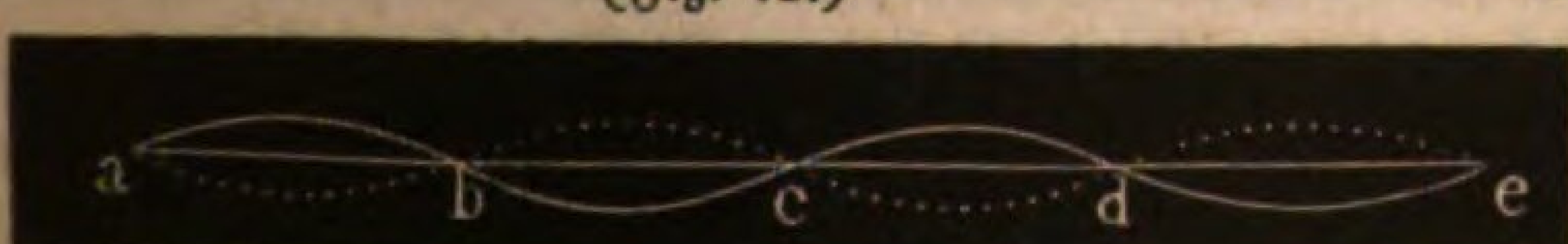
Unsere Leser könnten uns hier vorhalten, daß wir uns aus der Physik in das Gebiet der Musik verirrt hätten; wir müssen jedoch bemerken, daß diese Abschweifung in Folgendem uns von wesentlichem Nutzen sein wird.

Wir fassen das Ergebniß unserer bisherigen Erörterungen in den einen Satz zusammen: Die Höhe oder Tiefe eines Tones beruht physikalisch auf der Größe der Schwingungszahl desselben und die Consonanz zweier Töne auf der Einfachheit des Verhältnisses dieser Schwingungszahlen.

Schwingungsknoten.

Wir haben bisher durchgehends angenommen, daß eine Saite in ihrer ganzen Länge schwingt. Eine Saite kann jedoch auch die merkwürdige Erscheinung zeigen, daß sie sich in aliquote Theile theilt, welche zugleich nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, wie dies Fig. 71 darstellt. Um diese Erscheinungen hervorzubringen, hat man nur nöthig, die Saite in einem Theilungspunkte, hier z. B. in b, sanft mit dem Finger zu berühren und zwischen a und b

(Fig. 71.)



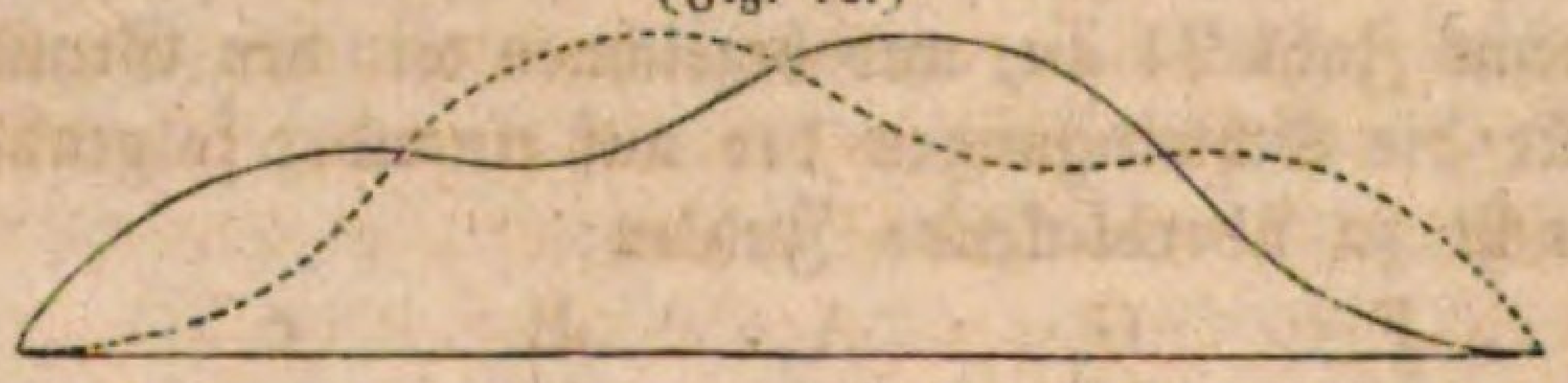
mit dem Bogen zu streichen. Man vernimmt dann, wenn der Punkt b um ein Viertel der ganzen Saitenlänge von a absteht, die doppelte Octave des Grundtons, also einen Ton von viermal so großer Schwingungszahl. Schon hieraus läßt sich schließen, daß die Saite in Vierteln geschwungen hat. Man kann jedoch dieses Verhältniß noch unmittelbar vor Augen stellen, indem man auf die Saite an verschiedenen Stellen kleine Papierstreifen in der Form von Reitern setzt; man sieht dann, daß die bei b, c, d aufgesetzten Reiterchen sitzen bleiben, die dazwischen angebrachten aber abgeworfen werden.

Die in Ruhe bleibenden Punkte b, c, d werden Schwingungsknoten genannt, die Töne aber, welche durch die in aliquoten Theilen schwingende Saite hervorgebracht werden, führen den Namen Flageolettöne. Diese Töne harmoniren unter sich und mit dem Grundtone, da ihre Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnisse stehen.

In angenehmer Weise werden diese Töne bei der Aeolsharfe vernommen. Diese besteht aus einem Resonanzboden, über welchen mehrere Saiten gespannt sind, welche eine ganz gleiche Stimmung haben. Wird die Aeolsharfe in den Luftzug, z. B. in das geöffnete Fenster gestellt, so gerathen die Saiten in Schwingungen, und indem sie sich hierbei in aliquote Theile theilen, bilden die Töne schöne Accorde.

Eine Saite kann auch zwei Schwingungsarten zugleich machen, als ein Ganzes und in aliquoten Theilen schwingen, wie dieses Fig. 72 veranschaulicht. Man vernimmt dann außer dem Grundton noch einen höheren, mit diesem consonirenden Nebenton. Dasselbe kommt auch bei anderen tönenden Körpern, Stäben, Glocken, Blasinstrumenten u. dgl. vor.

(Fig. 72.)

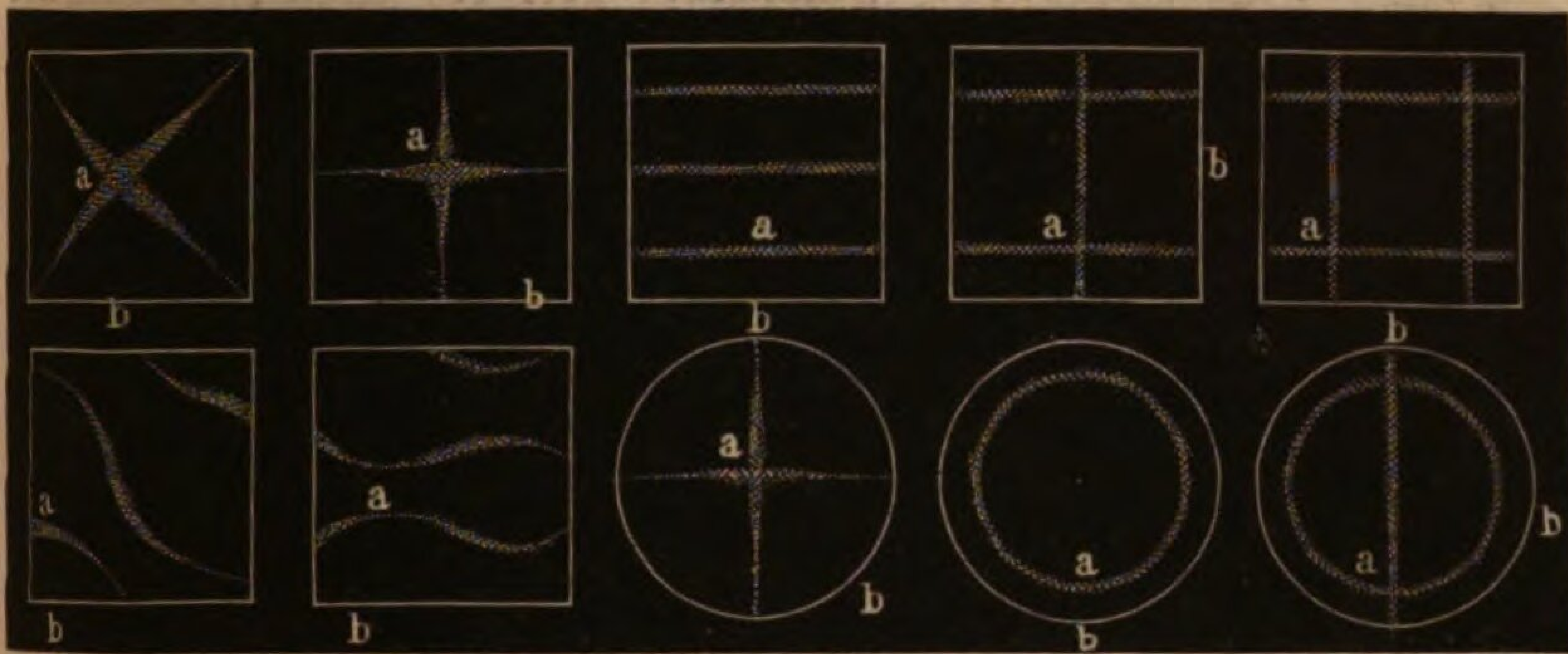


Klang-Figuren. Was wir so eben bei der Saite als einen besonderen Fall kennen gelernt haben, gilt für schwingende Scheiben als Regel, nehmlich daß sich dieselben in aliquote Theile theilen, welche nach entgegengesetzten Richtungen schwingen und durch ruhende Stellen, welche hier zusammenhängende Linien bilden und den Namen Knotenlinien führen, getrennt werden. Man kann dieses Verhältniß sehr leicht sichtbar machen, wenn man eine Glasscheibe mit feinem Sande bestreut, dieselbe an irgend einer Stelle (a) mit zwei Fingern festhält und an einer Stelle (b) des Randes mit einem Bogen streicht. Der Sand wird dann von den schwingenden Theilen abgeworfen und sammelt sich an den ruhenden in Linien an, welche regelmäßige Figuren darstellen, von denen Fig. 73 einige Beispiele zeigt. Man nennt diese Figuren gewöhnlich Chladni'sche, weil Chladni zuerst 1787 auf dieselben aufmerksam gemacht hat.

Auch die Glocken, welche als gekrümmte Scheiben angesehen werden können, theilen sich beim Tönen in aliquote, nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Theile, wobei die Knotenlinien sich im Knopfe der Glocke durchkreuzen.

Blase-Instrumente. Außer Saiten und Scheiben finden in der Musik auch noch Stäbe, z. B. in den Spieluhren, Anwendung; wir verweilen jedoch bei diesen nicht, weil sie uns keine besonders bemerkenswerthen Erscheinungen darbieten. Flüssige Körper eignen sich wegen ihrer geringen Elasticität überhaupt nur wenig zur Erzeugung von Tönen; dagegen sind luftförmige Körper, eben weil sie im höchsten Grade elastisch sind, hierzu auch am allergeeignetsten.

(Fig. 73.)



Die Stimme der Menschen und der Thiere wird durch Luftschwingungen erzeugt, und in der großen Zahl der Blase-Instrumente ist die Luft der tönende Körper. Die Richtigkeit der letzteren Behauptung geht schon daraus hervor, daß man eine tönende Pfeife anfassen kann, ohne das Tönen derselben zu stören, ferner daraus, daß zu Pfeifen auch ganz unelastisches Material, welches an sich zum Tönen durchaus untauglich ist, sehr wohl verwandt werden kann, wie dieß z. B. die bleiernen Orgelpfeifen zeigen; weiter auch daraus, daß die Höhe und Tiefe des Tones von der Beschaffenheit des Materials unabhängig ist; Pfeifen von sehr verschiedenartigem Material, Holz, Blei, Messing, geben, wenn sie im Uebrigen eine gleiche Einrichtung haben und auf gleiche Weise angeblasen werden, auch gleich hohe Töne.

Dieselben zeigen jedoch bei gleicher Höhe des Tones eine gewisse specifische Verschiedenheit desselben, welche sich nicht näher definiren läßt und auch wohl mit dem Worte **Klang** bezeichnet wird. Eine bleierne Pfeife klingt anders, als eine hölzerne, auch wenn Höhe und Stärke des Tones bei beiden dieselben sind. Wir erkennen überhaupt die verschiedenen Blase-Instrumente, Flöte, Clarinette, Horn, Trompete u. s. w. an dem eigenthümlichen Klange. In allen diesen Instrumenten ist die eingeschlossene Luftsäule der tönende Körper, die Geschwindigkeit ihrer Schwingungen bestimmt die Höhe, die Größe dieser Schwingungen die Stärke des Tones. Wovon aber die Eigenthümlichkeit des **Klanges** abhängt, läßt sich weniger mit Sicherheit sagen. Wahrscheinlich ist dieselbe eine Folge der **Resonanz**, indem auch die Wände der Pfeifen mittönen, durch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule, welche hauptsächlich den Ton erzeugen, selbst in Schwingungen versetzt werden, welche den Ton der schwingenden Luftsäule verstärken und eigenthümlich modificiren.

Von den verschiedenen Arten, die Luft in einer Pfeife in Schwingungen zu versetzen, heben wir die folgenden hervor. In den sogenannten **Zungenpfeifen**, zu denen z. B. die Clarinette und die Schnarrwerke der Orgeln gehören, wird zunächst ein elastisches Blättchen in Schwingungen versetzt, welches seine schwingende Bewegung der eingeschlossenen Luftsäule mittheilt. Die Höhe und Tiefe des Tones wird bei diesen Pfeifen vorzüglich durch das schwingende Blättchen bestimmt, wiewohl auch die Länge der Luftsäule nicht ohne Einfluß ist. Zungenpfeifen.

Mit den Zungenpfeifen hat auch das Stimmorgan der Menschen und Thiere am meisten Aehnlichkeit. Zwei elastische Bänder, die sogenannten

(Fig. 74.)



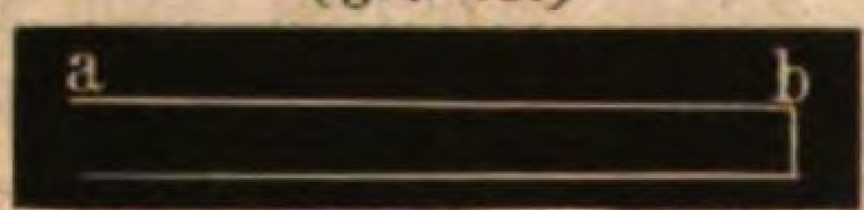
Stimmbänder, welche oben über den Kehlkopf ausgespannt sind und nur eine schmale Spalte zwischen sich lassen, durch welche die Luft austreten kann, theilen ihre Schwingungen, in welche sie durch diese ausströmende Luft versetzt werden, der in der Mundhöhle eingeschlossenen Luft mit. Die Höhe und Tiefe des Tones hängt von der größeren oder geringeren Spannung der Stimmbänder ab; das Artikulirte des Tones aber, daß wir bestimmte Laute vernehmen, wird durch die Stellung der Lippen, der Zunge, der Zähne u. s. w. bedingt. Worin aber diese Modification eigentlich besteht, davon fehlt uns zur Zeit noch jede Kenntniß.

Lippenpfeifen.

Bei den **Lippenpfeifen** wird die eingeschlossene Luftsäule durch das Einblasen eines schmalen Luftstromes in die schwingende Bewegung gebracht. Fig. 74 stellt eine solche Pfeife im Durchschnitt dar. Die bei c eingeblasene Luft trifft bei aa auf eine die Pfeife in der Quere fast schließende Platte und theilt sich hier in zwei Theile, von denen der eine durch die Oeffnung d, das sogenannte **Mundloch**, austritt, der andere aber in die Röhre aabb übergeht und die dort eingeschlossene Luftsäule, indem er sich gleichsam an derselben reibt, in schwingende Bewegung versetzt. — Diese Schwingungen zeigen eine wesentliche Verschiedenheit, je nachdem die Pfeife am unteren Ende bb **offen** oder geschlossen, **gedeckt** ist.

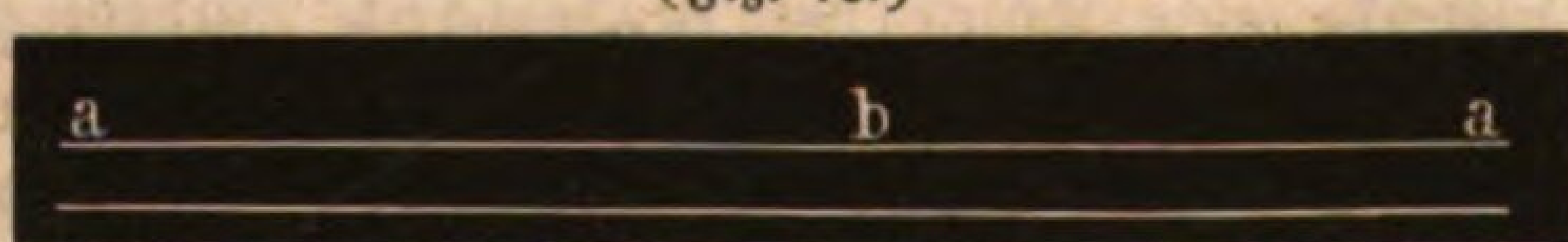
In einer gedeckten Pfeife wird die Luft durch den eingeblasenen Luftstrom von dem Mundloche a, Fig. 75, gegen den Boden b hingetrieben und hier so lange verdichtet, bis die Verdichtung einen gewissen Grad erreicht hat, worauf sich dann die Luft in der entgegengesetzten Richtung von b nach a hin bewegt. Diese Bewegung dauert so lange, bis in b ein gewisser Grad der Verdünnung eingetreten ist, worauf dann wieder die Bewegung in der Richtung von a nach b hin erfolgt u. s. w.

(Fig. 75.)



Ist die Pfeife am unteren Ende offen, so bildet sich (bei der einfachsten Schwingungsart) in der Mitte derselben, b, Fig. 76, ein Schwingungsknoten, in welchem die Luft in Ruhe bleibt, und zu dessen beiden Seiten dieselbe nach entgegengesetzten Richtungen schwingt. Man kann daher die offene Pfeife als aus zwei gedeckten Pfeifen bestehend ansehen, welche mit den geschlossenen Enden gegen einander stoßen. Die Richtigkeit dieser Ansicht geht schon aus dem Umstande hervor, daß eine offene Pfeife, wenn sie mit einer gedeckten den nehmlichen Ton geben soll, die doppelte Länge haben muß. Das Vorhandensein des Schwingungsknotens in der Mitte der Pfeife ist jedoch durch **Hopkins** auch auf dem Wege des Versuches direct nachgewiesen worden. **Hopkins** senkte nehmlich in eine gläserne aufrecht stehende Pfeife einen an drei Fäden, wie eine Wagschale, aufgehängten metallenen Ring, über welchen ein mit Sand bestreutes Häutchen ausgespannt war. Befand sich dieser Ring in der Gegend des Schwingungsknotens, und wurde die Pfeife zum Tönen gebracht, so blieb der Sand

(Fig. 76.)



in Ruhe, in größerer Entfernung vom Schwingungsknoten aber wurde derselbe herabgeworfen.

Bei offenen und gedeckten Pfeifen, welche parallele Wände haben und mehrmals (wenigstens sechsmal) länger, als breit sind, ist die Tonhöhe der Länge umgekehrt proportional, der Ton also um so höher, je kürzer die Pfeife ist. Soll jedoch die offene Pfeife einen gleich hohen Ton mit einer gedeckten geben, so muß sie, wie schon oben bemerkt, doppelt so lang sein. Bei gleicher Länge giebt die offene Pfeife den doppelt so hohen Ton, als die gedeckte, also die Octave. Wenn bei einer offenen Pfeife die Wände sich erweitern, so verkürzt sich dieselbe gleichsam und der Ton wird höher; verengen sich dagegen die Wände, so fällt der Ton niedriger aus, indem die Pfeife sich gleichsam einer gedeckten nähert. — Sind an einer offenen Pfeife Seitenöffnungen, welche nicht zu klein sind, angebracht, so erstreckt sich die schwingende Luftsäule nur bis zur ersten Oeffnung.

Wir haben bisher bloß den Fall betrachtet, daß in einer gedeckten Pfeife nur ein Schwingungsknoten am geschlossenen Ende, in einer offenen Pfeife in der Mitte entsteht; es kann indeß in beiden Pfeifen die Luft auch mit mehreren Schwingungsknoten schwingen; wir verweilen jedoch hierbei nicht, da wir Aehnliches schon bei den Saiten kennen gelernt haben; wir bemerken nur, daß hierin die Erscheinung ihre Erklärung findet, daß Blasinstrumente, wie Trompeten, Hörner, welche keine Seitenöffnungen haben, nach Verschiedenheit des Anblasens verschieden hohe Töne geben können, indem die schwingende Luftsäule sich in eine mehr oder minder große Anzahl durch Schwingungsknoten getrennter schwingender Theile theilt.

Endlich bemerken wir noch, daß das Vorhergehende weniger Anwendung auf die Flöte wegen des bei derselben nicht in der Richtung der Länge, sondern von der Seite her erfolgenden Anblasens findet.

So wie die Luft vermöge ihrer Elasticität zur Hervorbringung von Tönen vorzüglich geeignet ist, so ist dieselbe auch das beste und hauptsächlichste Fortpflanzungsmittel des Schalles. Obschon feste und selbst flüssige Körper, wie viele bekannte Erfahrungen lehren, den Schall fortzupflanzen vermögen, so gelangen doch die Töne, welche wir vernehmen, vorzugsweise durch die Luft zu unserem Ohre. Fortpflanzung des Schalles.

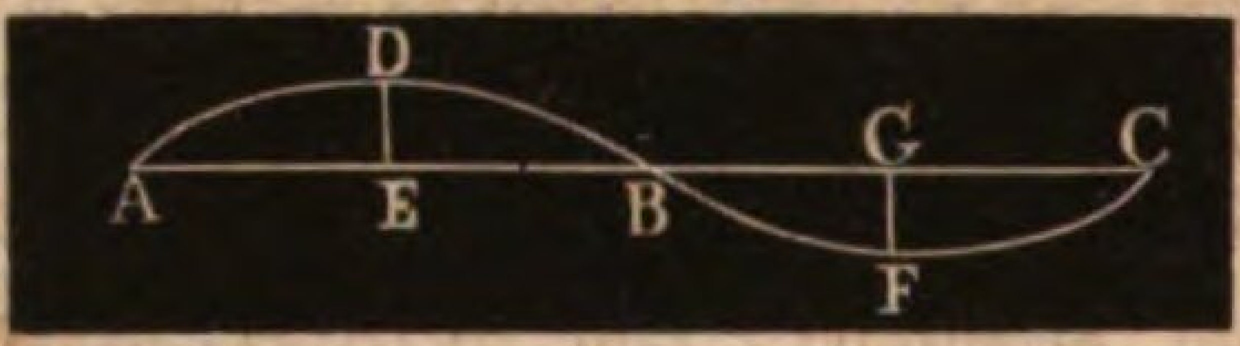
Indem ein tönender Körper nach einer Seite hin eine Schwingung macht, bringt er zunächst an dieser Seite in der Luft, welche er vor sich hertreibt, eine Verdichtung, an der anderen Seite eine Verdünnung hervor; und indem der tönende Körper demnächst nach der anderen Seite schwingt, tritt an die Stelle der früheren Verdichtung oder Verdünnung der entgegengesetzte Zustand. Die Verdichtung der Luft, welche der schwingende Körper vor sich hertreibt, erreicht mit dem Ende dieser Schwingung ihren höchsten Grad; die Luft dehnt sich wieder aus; allein sie kehrt nicht bloß in den früheren Zustand zurück, sondern sie fährt vermöge des Trägheitsgesetzes — (ein jeder bewegte Körper hat das Bestreben, seine Bewegung fortzusetzen) — fort, sich auszudehnen und geht in den Zustand der Verdünnung über. Indem sie aber hierbei die angrenzende Luftschicht vor sich hertreibt, wird diese ebenfalls verdichtet, welche sich demnächst wieder ausdehnt und hierbei eine folgende Luftschicht verdichtet. Auf diese Art bilden sich um den schwingenden Körper abwechselnde Schichten von verdichteter und verdünnter Luft, welche sich um den schwingenden Körper als Mittelpunkt in kugelförmiger Gestalt

immer weiter und weiter ausbreiten, in ähnlicher Art wie die Wellen im Wasser über die Oberfläche desselben in Form von Kreisen fortschreiten.

Wellen. Da wir diese unmittelbar zu beobachten vermögen, während wir auf das Vorhandensein der den Schall in der Luft fortpflanzenden Wellen nur aus theoretischen Gründen schließen, und da die einen die nehmlichen Hauptgesetze, wie die anderen befolgen, so bieten die im Wasser (oder Quecksilber) erregten Wellen das geeignetste Mittel dar, diese Gesetze zu studiren. Wir heben hier von diesen Gesetzen die folgenden heraus:

An jeder im Wasser erregten Welle unterscheiden wir den erhabenen Theil ADB, Fig. 77, und den vertieften Theil BFC. Der erstere wird gewöhnlich Wellenberg, der letztere wird Wellenthal genannt; die Summe aus den Höhen beider Theile DE und CF heißt die Höhe, und die Summe aus den Breiten beider Theile, AB und BC zusammen, oder AC, wird die Länge der Welle genannt.

(Fig. 77.)



Indem die über die Oberfläche des Wassers sich kreisförmig ausbreitende Welle sich immer mehr vom Mittelpunkte entfernt, nimmt ihre Höhe beständig ab, bis dieselbe zuletzt unmerklich wird.

Trifft eine Welle auf eine feste Wand in senkrechter Richtung, so wird sie in der nehmlichen Richtung zurückgeworfen; trifft sie schief auf die Wand, so wird sie unter dem nehmlichen Winkel an der anderen Seite zurückgeworfen.

Zwei zu gleicher Zeit im Wasser erregte Wellen gehen durch einander hindurch, ohne sich in ihrer fortschreitenden Bewegung zu stören.

An den Stellen jedoch, an welchen sie sich kreuzen, findet da, wo Wellenberg mit Wellenberg und Wellenthal mit Wellenthal zusammen fällt, eine Vergrößerung der Wellenhöhe oder Tiefe statt; dagegen wird diese Höhe vermindert an den Stellen, wo der Berg der einen Welle mit dem Thale der anderen zusammentrifft

Diese Gesetze gelten, wie gesagt, in der Hauptsache auch von den den Schall fortpflanzenden Luftwellen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, daß bei den Wellen im Wasser die Wassertheilchen sich auf und nieder, bei den Schallwellen die Lufttheilchen sich vorwärts und rückwärts, also bei diesen in der Richtung des Radius, bei jenen dagegen senkrecht auf den Radius bewegen. Die Wellen im Wasser und die Schallwellen in der Luft stimmen wieder darin mit einander überein, daß bei beiden ein eigentliches Fortschreiten der bewegten Theilchen nicht stattfindet, indem dieselben nach vollendeter Schwingung in ihre frühere Lage zurückkehren, während die Welle selbst weitergeht. Man sieht dieß bei den Wellen im Wasser deutlich an jedem auf der Oberfläche desselben schwimmenden Körper, z. B. an einem Strohhalme, welcher gehoben wird, wenn der Wellenberg, und sich senkt, wenn das Wellenthal unter ihm hinweg geht, aber seinen Ort auf der Oberfläche des Wassers nicht verändert.

Geschwindigkeit des Schalles. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Schallwellen in der Luft sich fortpflanzen, ist, verglichen mit der Geschwindigkeit des Lichtes, eine äußerst mäßige, wie viele bekannte Erfahrungen lehren. Sehen wir in der Entfernung von einigen tausend Schritten die geschwungene Axt eines Arbeiters gegen den zu fällenden Baum schlagen oder den Blitz des von einem Jäger abgefeuerten Gewehres, so vergehen erst mehrere Secunden, ehe wir den

zugehörigen Schall vernehmen. — Nach den von verschiedenen Physikern mit der größten Sorgfalt angestellten Versuchen, bei denen in einer abgemessenen Entfernung aufgestellte Geschütze abgefeuert und die Zwischenzeiten zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Schalles beobachtet wurden, pflanzt sich der Schall in der Luft mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort und durchläuft in trockener Luft bei einer Temperatur von 15 Centesimal-Grade 1050 Pariser Fuß in der Secunde.

Bei höherer oder niedrigerer Temperatur ist die Geschwindigkeit des Schalles etwas größer oder kleiner, und zwar kann man auf jeden Grad über oder unter 15° eine Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit von ohngefähr 2 Fuß rechnen. In feuchter Luft ist die Geschwindigkeit des Schalles um ein Geringes größer, als in trockener. Ob der Wind den Schall, je nachdem er in der Richtung desselben oder in der entgegengesetzten weht, nun seine eigene Geschwindigkeit beschleunigt oder verzögert, ist noch nicht mit Sicherheit ermittelt.

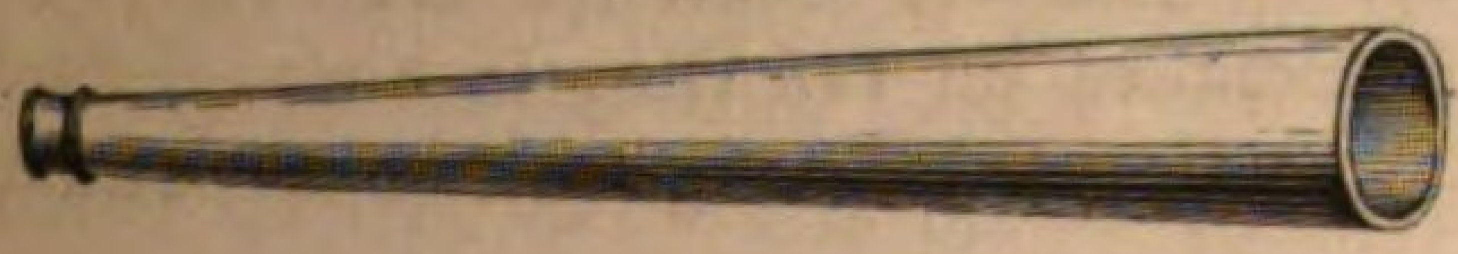
Stärke des Schalles.

Die **Stärke** des Schalles nimmt mit der Ausbreitung der den Schall fortpflanzenden Wellen ab, wahrscheinlich im quadratischen Verhältnisse der Entfernung, d. h. der Schall vermindert in der doppelten, dreifachen Entfernung seine Stärke auf den vierten, neunten Theil; doch ist es kaum möglich, hierüber direct entscheidende Versuche anzustellen.

Wird der Schall an der Ausbreitung verhindert, so nimmt seine Stärke in weit geringerem Verhältnisse ab. So läßt sich z. B. der Schall durch Röhren in sehr beträchtliche Entfernungen ohne erhebliche Schwächung fortpflanzen. Man macht hiervon in größeren Fabrikgebäuden nützlichen Gebrauch, indem man die Gemächer der einzelnen Arbeiter durch blechene Röhren mit dem Zimmer des Dirigenten verbindet. Eben so erhält der Matrose im Mastkorbe eines Schiffes durch eine Röhre, welche von da bis in die Cajüte des Capitains führt, von diesem Befehle und ertheilt auf demselben Wege Antwort. — **Biot** benutzte die Anlage einer Wasserleitung in Paris zur Anstellung von akustischen Versuchen und fand bei dieser Gelegenheit, daß jedes an einem Ende der eine halbe Meile langen Röhrenleitung leise gesprochene Wort am anderen Ende deutlich vernommen werden konnte.

Um den Schall stärker nach einer Richtung fortzupflanzen, indem die Ausbreitung desselben nach anderen Richtungen gehemmt wird, dient auch das 1670 von **Morland** in England erfundene **Sprachrohr**, welches aus einer mehrere Fuß langen sich kegelförmig erweiternden Röhre besteht, Fig. 78.

(Fig. 78.)



Während das Licht die unermeßlichen Fernen des Weltraums durchdringt und uns Kunde von den entlegensten Gestirnen bringt, können wir natürlich durch den Schall nur von Ereignissen, welche auf unserer Erde oder doch innerhalb der Atmosphäre derselben sich zutragen, Kenntniß erhalten. Als Beispiele sehr großer Entfernungen, in denen der Schall in einzelnen Fällen vernommen worden ist, heben wir folgende hervor: Im Jahre 1792 wurde die Kanonade von Mainz bei Eimbeck in 33 Meilen Entfernung, 1809 wurden Kanonenschüsse auf Helgoland in Hannover, 33 Meilen, und 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge, 80 Meilen weit, gehört.

So wie die Wellen im Wasser von einer Wand, auf welche sie treffen, zurückgeworfen werden, so gilt dasselbe auch von den den Schall fortpflan-

Zurückwerfung des Schalles. zenden Luftwellen, wie sich dieß sehr deutlich in der bekannten Erscheinung des Echo's zeigt. Damit jedoch ein Echo wirklich zu Stande komme, darf die den Schall zurückwerfende Wand unserem Ohre nicht zu nahe sein. Wir vermögen nehmlich in der Secunde nur etwa 9 Töne deutlich von einander zu unterscheiden. Soll also unser Ohr den ursprünglichen und den reflectirten Schall deutlich von einander unterscheiden, so muß die Zwischenzeit zwischen der Ankunft des ersteren und der Ankunft des letzteren an unserem Ohre wenigstens $^1/_9$ Secunde betragen. Der Schall durchläuft, wie wir oben gesehen haben, in der Secunde 1050 Fuß, also in dem neunten Theile einer Secunde 116 Fuß (ohngefähr), und da er den Weg sowohl nach der Wand hin, als wieder zurück zu machen hat, so muß diese wenigstens 58 Fuß von unserem Ohre entfernt sein.

Es versteht sich wohl von selbst, daß diese Zahl nur für eine ohngefähre Bestimmung gelten kann, da die Zahl der Töne, welche das Ohr in der Secunde zu unterscheiden vermag, welche wir oben zu 9 angenommen haben, für mehr oder weniger geübte Ohren sehr verschieden liegen kann. Klar aber geht aus unserer Erörterung für das Zustandekommen eines Echo's als wesentliche Bedingung eine hinreichende Entfernung der reflectirenden Wand hervor.

Ist diese Entfernung nur gering, so fällt der reflectirte Schall fast ganz mit dem ursprünglichen zusammen und wirkt daher zur Verstärkung desselben, ein Hauptgrund, weshalb wir in geschlossenen Räumen leichter verstanden werden, als im Freien, wozu jedoch auch noch die Resonanz der Wände, auf welche der Schall trifft, beitragen dürfte. Ist die Entfernung größer, aber doch noch beträchtlich kleiner, als wir oben angegeben haben, so fällt der reflectirte Schall nur zum Theil mit dem ursprünglichen zusammen; er verstärkt daher nicht blos denselben, sondern er verlängert ihn auch, wodurch die Erscheinung des Nachhalles hervorgeht. Erst wenn die reflectirende Wand so weit entfernt ist, daß beide deutlich von einander unterschieden werden können, entsteht der Wiederhall oder das Echo.

Sind zugleich mehrere den Schall reflectirende Wände in verschiedenen Entfernungen vorhanden, so daß die von denselben zurückgeworfenen Schallwellen zu verschiedenen Zeiten ans Ohr gelangen, so kann der nehmliche Ton mehrmals vernommen werden, wodurch ein mehrfaches Echo entsteht. Ausgezeichnete Echo's sind z. B. bei der Lurlei am Rhein, bei Adersbach in Böhmen. Das berühmteste aber ist das des Schlosses Simonetta bei Mailand; durch die Reflexion des Schalles an den Flügeln dieses Schlosses wird ein aus einem Fenster des Hauptgebäudes abgefeuerter Pistolenschuß gegen fünfzigmal wiederholt.

Stöße. Bei den oben angeführten allgemeinen Gesetzen der Wellenbewegung haben wir gesehen, daß zwei Wellen bei ihrem Zusammentreffen sich eben so wohl verstärken, als schwächen können. Dasselbe muß daher unter gewissen Bedingungen auch für zwei Töne gelten.

Auf diesem Prinzipe beruht die Erscheinung der sogenannten musikalischen Stöße. Werden nehmlich zwei Saiten zugleich angeschlagen oder noch besser zwei Orgelpfeifen zum Tönen gebracht, welche nicht genau, aber doch sehr nahe denselben Ton geben, so nimmt man in regelmäßiger Folge ein wechselndes Stärker- und Schwächerwerden des Tones wahr. Dieses wechselnde Zu- und Abnehmen in der Stärke des Tones findet seine Erklärung in dem wechselnden Zusammentreffen gleichartiger und ungleichartiger Theile, Wellenberge und Wellenthäler, der beide Töne zu unserem Ohre fortpflanzenden Schallwellen.

Nehmen wir nehmlich an, um von einem bestimmten Beispiele auszugehen, daß dem einen Tone 100 Schwingungen, dem anderen, welcher nach unserer Annahme etwas, aber nur wenig verschieden sein soll, 101 Schwingungen in der Secunde zukommen, so wird, wenn für irgend einen Moment gleichartige Wellentheile, also von beiden die Wellenberge und von beiden die Wellenthäler zugleich an unser Ohr gelangen und sich folglich beide im höchsten Maaße verstärken, bei der nächstfolgenden Schwingung dieses Zusammentreffen schon nicht mehr ganz vollständig stattfinden, weil ja die Schwingungen des einen Tones sich etwas rascher, als die des anderen folgen. Mit jeder folgenden Schwingung werden dieselben immer mehr aus einander gehen und sich folglich immer weniger verstärken, ja späterhin sogar schwächen. Denn nachdem der erste Ton 50 Schwingungen gemacht hat, hat der andere deren $50^1/_2$ vollendet; es werden daher jetzt die gerade entgegengesetzten Wellentheile, der Wellenberg des einen Tones und das Wellenthal des anderen gleichzeitig an unser Ohr gelangen. Sie werden sich also jetzt am meisten schwächen, bis nach abermals 50 und $50^1/_2$ Schwingungen, also im Ganzen nach 100 und 101 Schwingungen des einen und des anderen Tones wieder die größte Verstärkung eintritt.

Das Ohr vernimmt daher in jeder Secunde eine Anschwellung des Tones, einen sogenannten Stoß, wenn, wie in dem angenommenen Beispiele, die Schwingungszahlen beider Töne sich um Eins unterscheiden; es kommen dagegen drei Stöße in der Secunde zum Vorschein, wenn die Schwingungszahl des einen Tones 100, die des anderen 103 beträgt, also beide sich um drei unterscheiden; überhaupt ist die Zahl der in der Secunde vernehmbaren Stöße gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen beider zugleich erklingenden Töne.

Wir haben oben angegeben, wie sich diese interessante Erscheinung hervorrufen läßt, indem man nehmlich zugleich zwei einander sehr nahe liegende Töne erzeugt. Die Erscheinung tritt jedoch auch nicht selten von selbst auf, ohne daß ihre Erzeugung beabsichtigt wird. Dieß ist z. B. bei tönenden Glocken der Fall. Wie wir früher (S. 76) gesehen haben, schwingen diese allemal in aliquoten Theilen. Denken wir uns, daß die Glocke eine vollkommen regelmäßige Gestalt besitzt und aus einer durchaus gleichmäßigen Masse besteht, so werden auch die aliquoten Theile, in welche dieselbe beim Tönen sich theilt, genau mit einander übereinstimmen und genau denselben Ton geben. Diese Bedingungen sind jedoch bei keiner Glocke vollständig erfüllt; es stimmen daher die Töne der aliquoten Theile nicht vollkommen überein, sondern weichen um eine kleine Differenz von einander ab und müssen folglich, indem sie zugleich erklingen, bald stärker, bald schwächer vernommen werden, mit einem Worte Stöße erzeugen. Und in der That vernimmt man bei jeder angeschlagenen Glocke beim allmähligen Verklingen des Tones ein wechselndes Stärker- und Schwächerwerden desselben.

Interferenz der Schallwellen.

Wenn wir bei der Erklärung dieser vielleicht minder wichtigen Erscheinung länger verweilt haben, so ist dieß vorzüglich in Rücksicht auf die Lehre vom Lichte geschehen. Wir werden dort einer Gruppe der verbreitetsten und bekanntesten Erscheinungen begegnen, welche lediglich ihre Erklärung in dem so eben ausgebeuteten Principe finden, daß nehmlich Wellen beim Zusammentreffen sich eben so wohl verstärken, als schwächen können. Man pflegt diese Erscheinung mit dem Namen Interferenz zu bezeichnen. Es erschien uns aber bei der großen Analogie zwischen den Erscheinungen des Schalles und

des Lichtes von besonderer Wichtigkeit, wenn wir später von diesem Principe in der Optik den wesentlichsten Gebrauch machen, unsere Leser dann auf akustische Erscheinungen zurück verweisen zu können, welche ebenfalls in diesem Principe ihre Erklärung finden.

Combinationstöne. Wir reihen an die vorhergehende Erörterung über die Erscheinungen der Stöße noch die Bemerkung an, daß, wenn die Differenz der Schwingungszahlen zweier zugleich vernommenen Töne eine beträchtlich große ist, also die Stöße sehr rasch auf einander folgen, dieselben selbst einen tiefer liegenden Ton, dessen Schwingungszahl eben jener Differenz gleich ist, erzeugen können. Man nennt dergleichen Töne Combinationstöne. Wenn man z. B. auf einer Orgel zugleich zwei Pfeifen zum Tönen bringt, welche um eine Quinte auseinander liegen, so vernimmt man neben jenen Tönen auch noch die nächst niedrigere Octave des tieferen Tones. Denn wenn z. B. diesem die Schwingungszahl 240, also der Quinte desselben die Zahl 360 zukommt, so werden beim gleichzeitigen Tönen beider Pfeifen 120 Stöße in der Secunde hervorgebracht, welche im Ohre für sich die Empfindung eines Tones hervorbringen, welcher um eine Octave tiefer liegt, als der niedrigere der beiden erzeugten Töne.

Zum Schlusse unserer Erörterung über den Schall stellen wir noch die folgende theoretische Betrachtung an, welche uns ebenfalls bei den optischen Untersuchungen, welche demnächst den Gegenstand unserer Unterhaltung bilden werden, eine fördersame Unterstützung gewähren dürfte.

Länge der Schallwellen. Wie wir oben gesehen haben, durchlaufen die den Schall in der Luft fortpflanzenden Wellen 1050 Fuß in der Secunde. Die durch die erste Schwingung des schallenden Körpers erzeugte Welle hat sich also nach Verlauf einer Secunde um 1050 Fuß von demselben entfernt, dasselbe wird eben so von der zweiten, dritten und jeder folgenden Schwingung und den durch dieselben erzeugten Wellen gelten. Soll aber die einer folgenden Schwingung entsprechende Welle an die Stelle der nächstvorhergehenden treten, so muß diese während der Dauer einer Schwingung gerade um eine Wellenlänge fortschreiten und folglich während einer Secunde um so viel Wellenlängen, als der tönende Körper in der Secunde Schwingungen macht. Indem so eine Wellenlänge gleichsam die Größe des Schrittes anzeigt, um welche die Schallwelle mit jeder neuen Schwingung des tönenden Körpers weiter schreitet, so muß sich uns offenbar die Größe der Schritte, d. h. die Länge der Wellen ergeben, wenn wir mit der Zahl derselben in den durchlaufenen Weg, welcher für alle Töne der nehmliche ist, nehmlich 1050 Fuß beträgt, dividiren. Dem tiefsten wahrnehmbaren Tone kommen, wie wir oben gesehen haben, 7 Schwingungen in der Secunde zu; die Länge seiner Wellen beträgt daher 150 Fuß; auf den höchsten Ton kommen dagegen 24,000 Schwingungen, und die Wellenlänge desselben beträgt folglich wenig mehr, als einen halben Zoll. Dem a der Stimmgabeln entsprechen 440 Schwingungen in der Secunde; die Wellenlänge desselben beträgt folglich ohngefähr $2\frac{2}{5}$ Fuß.

Es unterscheiden sich daher die Töne, welche wir vernehmen, eben so sehr durch die rasche Folge, in welcher die Wellen, welche dieselben fortpflanzen, unser Ohr treffen, als durch die Größe dieser Wellen.

VIII.

Das Licht.

Während die unbelebte Natur — abgesehen von dem Rollen des Donners und dem Brausen des Windes — fast durchgehends stumm und still ist, Töne meist nur von beseelten Wesen, Menschen oder Thieren, nach Willkühr hervorgebracht werden, strahlen umgekehrt verhältnißmäßig nur wenige Thiere ein schwaches, nur zur Nachtzeit wahrnehmbares Licht aus; eben so wird nur in seltenern Fällen durch den Lebensprozeß der Pflanzen ein vorübergehender Lichtschein hervorgerufen. Erzeugung des Lichtes.

Wie das mit ungeschwächter Kraft seit Jahrtausenden die Erde und die übrigen Trabanten erleuchtende Licht der Sonne entsteht, ist uns freilich gänzlich unbekannt. Das Licht, welches wir nach unserer Willkühr hervorrufen, wird uns fast durchgehends von anorganischen oder von organischen Körpern nach gänzlichem Aufhören des Lebensprozesses derselben meist in Folge eines chemischen Prozesses, Verbindung mit Sauerstoff, geliefert, indem überhaupt allemal, wenn zwei Körper sich mit großer Lebhaftigkeit verbinden, dieselben erglühen, also nach der Ansicht der Vibrationshypothese, von welcher wir sogleich ausführlicher handeln werden, die kleinsten Theile derselben in Schwingungen gerathen, welche sich als Licht- und Wärmestrahlen durch den Aether fortpflanzen.

Ein anderes allgemein bekanntes Erregungsmittel des Lichtes bietet die Wärme dar; weiterhin werden wir auch die Electricität als ein Mittel, besonders kräftiges Licht zu erzeugen, kennen lernen.

Während uns das Licht die uns umgebende Körperwelt sichtbar macht, vermögen wir das Licht selbst nicht wahrzunehmen. Ueber die Art und Weise, wie der Schall entsteht, welchen unser Ohr vernimmt, konnten wir uns durch den noch feineren Sinn des Gesichtes belehren. Ueber das Licht, welches unser Auge wahrnimmt, vermögen wir uns nicht durch einen noch feineren Sinn Aufschluß zu verschaffen. Erscheint es so als unmöglich, auf empirischem Wege, durch unmittelbare Beobachtung, das Wesen des Lichtes zu ermitteln, so stellt sich für den denkenden Geist die Aufgabe, auf dem Wege der geistigen Forschung die angemessenste Deutung und Auslegung der Erscheinungen zu gewinnen. Wesen des Lichtes.

Wird uns eine Hypothese dargeboten, in welcher eine gewisse Gruppe von Erscheinungen ihre vollständige Erklärung findet, so wird dieselbe zwar noch nicht zur Gewißheit, — nur die unmittelbare Erfahrung kann uns volle Gewißheit geben, — aber sie erhält doch einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Eine Hypothese verliert dagegen alle Giltigkeit, sie fällt gänzlich, wenn auch nur eine Erscheinung mit derselben in directen Widerspruch tritt. Werth der Hypothese überhaupt.

Wir bedürfen der Hypothese, um uns durch Zurückführung auf ein gemeinschaftliches Prinzip die Uebersicht über die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu erleichtern; zugleich kann auch eine passende Hypothese dazu dienen, uns Fingerzeige über die bei weiterer Forschung einzuschlagenden Wege zu geben.

Emanations-Hypothese. In Hinsicht des Lichtes haben die Physiker lange Zeit hindurch die Emanations-Hypothese, nach welcher das Licht aus einer feinen, von den leuchtenden Köıpern ausströmenden Materie besteht, für die einfachste und eben darum natürlichste gehalten. Schon im Jahre 1665 lehrte jedoch der Italiener Grimaldi Erscheinungen kennen, für welche die Emanationshypothese nicht nur keine Erklärung zu geben vermag, die derselben vielmehr geradezu widerstreiten. Grimaldi ließ nehmlich in ein übrigens verfinstertes Zimmer die Sonnenstrahlen durch zwei nahe neben einander befindliche feine Oeffnungen treten, und indem er dieselben mit einem weißen Schirme auffing, entstanden auf demselben zwei runde Sonnenbilder. Wurde der Schirm so weit entfernt, daß beide Sonnenbilder in einander griffen, so zeigte zwar der beiden Bildern gemeinschaftliche Theil im Allgemeinen eine größere Helligkeit, als die nicht gemeinschaftlichen Theile; an den Rändern des gemeinschaftlichen Theiles erschienen jedoch abwechselnd hellere und dunkelere Streifen, und diese letzteren besaßen, obschon sie durch beide Oeffnungen Licht erhielten, dennoch eine geringere Helligkeit, als die nur durch eine Oeffnung erleuchteten Stellen. — Schon Grimaldi zog hieraus den für die Lehre vom Lichte und die richtige Deutung der optischen Erscheinungen überhaupt so äußerst wichtigen Schluß, daß Licht zu Licht hinzugefügt sich nicht in allen Fällen verstärkt, sondern unter gewissen Umständen auch schwächen kann.

Standen nun auch diese und andere Erscheinungen, welche den Namen Interferenzerscheinungen führen, und von denen wir weiter unten ausführlicher handeln werden, der Emanationshypothese direct entgegen, so wurden dieselben doch weniger beachtet, indem Newton's großartige Entdeckungen in anderen Zweigen der Optik die Aufmerksamkeit der Physiker fesselten, und durch Newton's Ansehen bewogen, welcher seine Beobachtungen in der Sprache der Emanationshypothese vortrug, die Physiker lange Zeit fast allgemein dieser Hypothese huldigten und eine andere, schon von Huyghens, einem Zeitgenossen Newton's, ums Jahr 1690 aufgestellte Hypothese, welche den Namen Vibrationshypothese führt, fast unbeachtet ließen.

Vibrationshypothese. Nach dieser Hypothese nehmlich entsteht das Licht durch die äußerst feinen Erzitterungen der kleinsten Theile der leuchtenden Körper, und diese Erzitterungen, Schwingungen, werden durch eine ebenfalls äußerst feine und überall verbreitete Materie, welche den Namen Aether erhalten hat, in ähnlicher Art, wie die Schallwelle durch die Luft, fortgepflanzt.

Erscheint auch diese Hypothese auf den ersten Blick in so fern minder einfach, als sie die rein hypothetische Annahme des sowohl die Poren der durchsichtigen Körper, als auch den Weltraum erfüllenden Aethers fordert, so hat dieselbe doch durch neuere astronomische Beobachtungen eine empirische Stütze gewonnen, indem die von Encke an dem nach ihm benannten Kometen angestellten Beobachtungen ebenfalls für das Vorhandensein einer sehr feinen Materie im Weltraume sprechen, welche der Bewegung der Himmelskörper einen geringen Widerstand entgegensetzt, welcher sich darum am ersten und merklichsten an den Kometen herausstellt, weil diese selbst aus einer sehr dünnen Materie bestehen, während dieser Widerstand für die unvergleichlich dichteren Planeten vielleicht für immer unmerklich bleiben wird.

Besonders aber haben seit dem Anfange dieses Jahrhunderts Young, Fresnel, Frauenhofer und andere Physiker zahlreiche Erscheinungen, welche der Emanationshypothese direkt entgegenstehen, kennen gelehrt und nachgewiesen, wie dieselben in der Vibrationshypothese ihre volle und befriedigende Erklärung finden, so daß diese gegenwärtig allgemein von den Physikern angenommen wird.

Da wir später von den Erscheinungen der Interferenz ausführlicher handeln werden, so wird für jetzt in Hinsicht der Beobachtungen Grimaldi's die Hinweisung auf die analogen Erscheinungen, welche wir zuletzt beim Schalle kennen gelernt und mit den Namen der Stöße bezeichnet haben, ausreichen. So wie wir dort gesehen haben, daß zwei Schallwellen sich eben sowohl verstärken, als schwächen können, je nachdem die gleichen oder entgegengesetzten Wellentheile zusammentreffen, so wird dasselbe auch in Hinsicht des Lichtes gelten können, wenn dieses durch Schwingungen der kleinsten Theile der leuchtenden Körper erzeugt und wellenförmig im Aether fortgepflanzt wird.

Nachdem wir so unseren Lesern die Hypothese angegeben haben, auf welche wir die Erklärung der optischen Erscheinungen stützen werden, gehen wir zu diesen selbst, also zu dem Thatsächlichen, über. In Hinsicht jener können wir irren; dieses letztere können wir unseren Lesern, als durch die Erfahrung verbürgte Wahrheit, vortragen.

Ehe wir hiermit beginnen, wollen wir jedoch noch vorher übersichtlich einige Hauptsätze der Vibrationshypothese für das Licht mit den analogen Sätzen aus der Lehre vom Schalle zusammenstellen. Schall und Licht.

Der Schall wird erregt, indem die tönenden Körper in ihrer ganzen Ausdehnung in Schwingungen gerathen, das Licht, indem die kleinsten Theile der Körper äußerst feine Schwingungen machen.

Der Schall wird durch Wellen in der Luft, das Licht durch Wellen im Aether fortgepflanzt.

Der Schall durchläuft in der Secunde 1050 Fuß in der Luft, das Licht 42,000 Meilen im Aether.

Aus der ungleichen Zahl der Schallschwingungen gehen Töne von verschiedener Höhe hervor; aus der ungleichen Zahl der Lichtschwingungen entstehen die verschiedenen Farben. Die violette Farbe entspricht den höchsten, die rothe den tiefsten Tönen, das Weiße aber ist zu vergleichen einem vollen Accorde in der Musik.

Auf den tiefsten Ton kommen 7, auf den höchsten 24,000 Schwingungen; dem violetten Lichte kommen etwa 660 Billionen, dem rothen 450 Billionen Schwingungen in der Secunde zu.

Die Länge der Schallwellen in der Luft beträgt für den höchsten Ton ohngefähr einen halben Zoll, für den tiefsten 150 Fuß.

Die Länge der das violette Licht im Aether fortpflanzenden Wellen ist etwa dem 5000sten Theile, die Länge der Wellen des rothen Lichtes dem 3400sten Theile einer Pariser Linie gleich.

Die Lichtwellen unterscheiden sich also von den Schallwellen durch die unvergleichlich größere Schwingungszahl, durch die weit geringere Wellenlänge und durch die größere Geschwindigkeit, mit welcher sie im Aether fortschreiten. Während die Schwingungszahl des höchsten Tones die des tiefsten mehrere tausendmal übertrifft, ist die größte Schwingungszahl, welche dem violetten Lichte zukommt, nur etwa anderthalbmal so groß, als die kleinste Schwin-

gungszahl des rothen Lichtes. Es finden also auch in diesem Verhältnisse beim Schalle viel gröbere Verschiedenheiten, beim Lichte viel feinere Unterschiede statt.

Unsere Leser werden uns mit Recht fragen, auf welche Thatsachen sich die hier vorläufig aufgeführten Angaben über die ungeheure Geschwindigkeit des Lichtes, die außerordentliche Feinheit der Wellen desselben und die enorme Größe der zugehörigen Schwingungszahlen stützen. Wir würden jedoch dem Folgenden vorgreifen, wollten wir schon jetzt auf die Beantwortung dieser Fragen eingehen; wir bemerken daher nur, daß wir im Verlaufe der folgenden Untersuchungen Gelegenheit finden werden, die obigen Angaben vollständig zu rechtfertigen.

Wir wenden uns nach den vorstehenden theoretischen Erörterungen zu den Erscheinungen selbst.

Selbstleuchtende Körper.

Wir unterscheiden bekanntlich selbstleuchtende Körper und dunkele Körper, welche uns nur durch das von anderen auf dieselben fallende Licht sichtbar werden. Zwischen beiden findet jedoch, wie wir gleich weiter sehen werden, keine scharfe Scheidung, sondern ein allmähliger Uebergang statt. Das stärkste Licht, welches wir kennen, ist das Sonnenlicht, ferner das electrische Licht, von dessen Erregung weiter unten gehandelt werden wird, das Drummond'sche Kalklicht, welches von einem im Knallgasgebläse erglühenden Stückchen Kalkes ausstrahlt, das Licht des im Sauerstoffgase brennenden Phosphors. Beispiele sehr schwachen Lichtes bieten uns die Leuchtwürmchen und faulendes Holz dar.

Wenn dieses Licht wegen seiner geringen Intensität nur im Dunkeln wahrgenommen wird, so gilt dasselbe noch weit mehr von dem Lichte gewisser Körper, welche man phosphorescirende nennt, weil sie die Eigenschaft besitzen, bei mäßiger Erwärmung, oder nachdem sie, wenn auch nur kurze Zeit, dem Lichte eines selbstleuchtenden Körpers, insbesondere dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen sind, ein äußerst schwaches Licht ausstrahlen, welches nur in einem vollkommen finsteren Raume für unser durch kein anderes Licht gereiztes Auge wahrnehmbar wird. Dergleichen Körper sind Papier, Stärke, Mehl, ferner Kalkerde enthaltende Körper, wie Marmor, Gyps, Eierschalen, Austerschalen u. dgl. m. In besonders ausgezeichnetem Maße aber zeigen diese Eigenschaft die sogenannten Bologneser Leuchtsteine, welche aus zerstoßenem, mit Eiweiß gemischtem und demnächst ausgeglühtem Schwerspath bestehen.

Das Licht aller dieser Phosphore ist jedoch, wie gesagt, so schwach, daß dasselbe unter gewöhnlichen Umständen ganz unbemerkt bleibt und erst, nachdem die gänzliche Finsterniß der Umgebung die Empfindlichkeit des Auges gesteigert hat, wahrgenommen wird. Da aber auch so die Empfindlichkeit unseres Auges doch nur eine beschränkte ist, so werden wir noch keineswegs behaupten dürfen, daß ein Körper, welcher, selbst in einem vollkommen finsteren Raume, uns als dunkel erscheint, gar kein eigenes Licht ausstrahlt. Es bleibt immer möglich, daß von demselben ein schwaches Licht ausgeht, welches noch schwächer ist, als das der angeführten Phosphore, und daher auch bei erhöhter Empfindlichkeit des Auges von demselben nicht wahrgenommen wird.

Durchsichtige Körper.

So wie wir hiernach zwischen selbstleuchtenden und dunkeln Körpern keine scharfe Grenzlinie zu ziehen vermögen, so gilt dasselbe auch von den Körpern, welche wir durchsichtig und undurchsichtig nennen. Die einen

sind nur mehr, die anderen weniger durchsichtig. Es findet zwischen denselben kein absoluter Unterschied, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach statt. In hinreichend dünnen Schichten werden die undurchsichtigen Körper durchsichtig, die durchsichtigen aber zeigen sich in sehr dicken Lagen als undurchsichtig. Das im höchsten Grade undurchsichtige Gold ist in den dünnen Blättchen, zu welchen sich dasselbe austreiben läßt, durchsichtig. Weiße Gegenstände, durch ein Goldblättchen gesehen, erscheinen in grünlichem Lichte; das Licht muß folglich, da es seine Farbe verändert hat, durch die Substanz des Goldes selbst seinen Weg genommen haben; es kann nicht etwa bloß durch kleine Lücken in den dünnen Blättchen gegangen sein.

Zu den durchsichtigsten Körpern gehört ohnstreitig das Wasser; allein auch bei völlig ruhiger Oberfläche des Meeres vermögen wir, wenn dasselbe eine beträchtliche Tiefe hat, keine Gegenstände auf dem Meeresgrunde zu erkennen. Daß auch die Luft nicht vollkommen durchsichtig ist, zeigt uns die große Schwächung, welche die Strahlen der Sonne beim Auf- und Untergange erleiden. Wir müssen hiernach annehmen, daß, wenn die Dichte der Atmosphäre und ihre Höhe eine gewisse Grenze überstiege, auch die am hohen Mittage von der Sonne ausgehenden Strahlen in der Atmosphäre eine zu große Schwächung erleiden würden, um noch für unser Auge wahrnehmbar zu sein. — So wie daher kein ganz undurchsichtiger Körper existirt, so giebt es auch keinen vollkommen durchsichtigen Körper.

Das Licht pflanzt sich bekanntlich, so lange das Fortpflanzungsmittel dasselbe bleibt, in gerader Linie fort; befindet sich daher zwischen einem leuchtenden Gegenstande und unserem Auge ein undurchsichtiger Körper, so vermögen wir jenen nicht zu sehen. In dieser Hinsicht weichen also das Licht und der Schall von einander ab; die Wahrnehmung eines Tones wird nur geschwächt, aber nicht gänzlich aufgehoben, wenn in die zwischen unserem Ohre und dem tönenden Körper zu ziehende gerade Linie ein für den Schall undurchdringlicher Körper tritt. *Gradlinige Fortpflanzung des Lichtes.*

Man hat diese Verschiedenheit als einen Einwand gegen die Vibrationshypothese hervorgehoben; allein wir müssen hierauf zunächst erwiedern, daß auch in den eigentlichen Schattenraum, wie wir weiter unten nachweisen werden, Lichtwellen eintreten, welche wir nur deshalb für gewöhnlich nicht wahrnehmen, weil sie den unmittelbar in gerader Linie fortschreitenden Wellen an Stärke weit nachstehen; ferner führen wir an, daß auch der Schall durch das Zwischentreten eines für denselben undurchdringlichen Körpers geschwächt wird, so daß also hier zwischen den Erscheinungen des Lichtes und den analogen des Schalles eigentlich keine absolute, sondern nur eine relative Verschiedenheit stattfindet; endlich weisen wir noch darauf hin, daß, wenn der Schall und das Licht beide durch Schwingungen entstehen, welche wellenförmig in der Luft oder im Aether fortgepflanzt werden, hieraus wohl Verwandtschaft, aber nicht vollständige Uebereinstimmung der Erscheinungen gefolgert werden darf.

Abgesehen von der unvergleichlich größeren Feinheit und Schnelligkeit der Lichtwellen findet überdieß zwischen denselben und den Schallwellen noch ein specifischer Unterschied statt. Während nehmlich bei den Schallwellen, wie wir oben gesehen haben, die Lufttheilchen sich vorwärts und rückwärts, also in der Richtung des Radius der fortschreitenden Wellen bewegen, so nimmt man dagegen aus Gründen, welche wir weiter unten kennen lernen werden, an, daß sich bei der Ausbreitung der Lichtwellen im Aether die

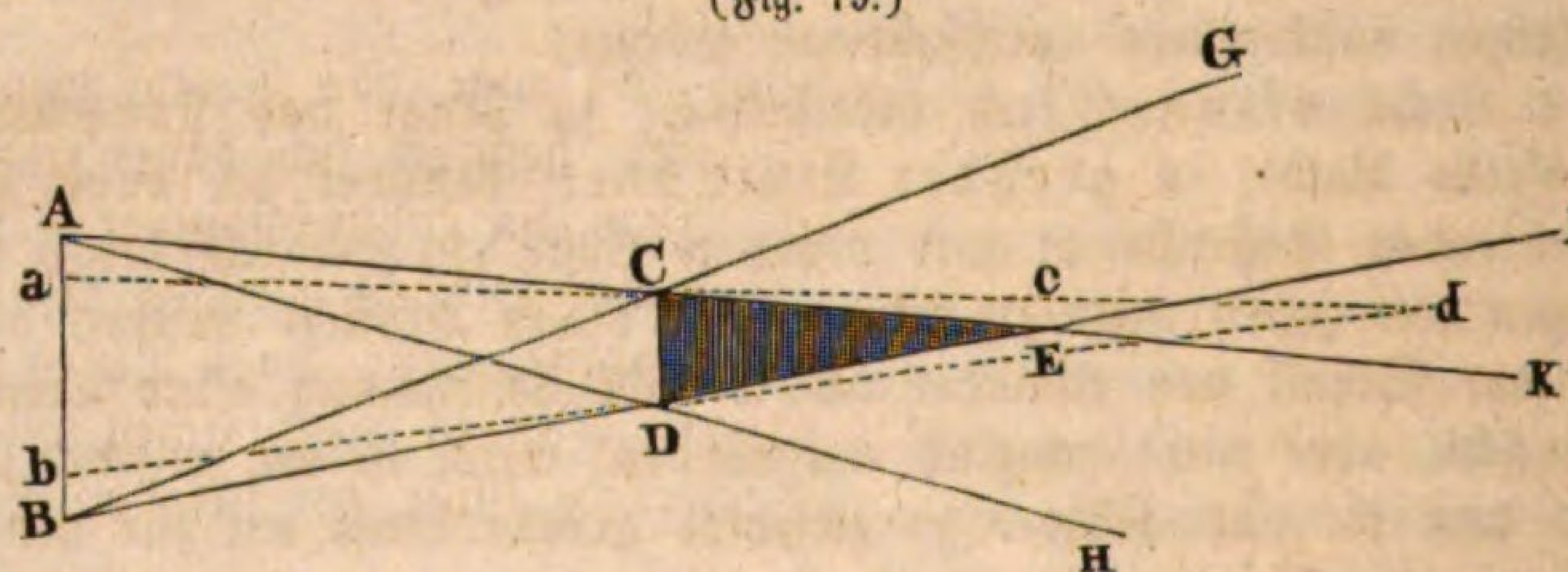
Aetherthteilchen senkrecht auf den Radius, also gleichsam auf- und abwärts bewegen, wie dieß ja auch bei den Wassertheilchen der Fall ist, wenn eine Welle über die Oberfläche des Wassers fortschreitet.

Die Richtung, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Punktes sich fortpflanzt, nennen wir einen Lichtstrahl. Wir bedienen uns hier eines der Emanationshypothese entlehnten Ausdruckes; allein wir entlehnen derselben bloß das bequeme Wort, nicht den Begriff. Indem wir dieses nur in dem angegebenen Sinne gebrauchen, welcher in keiner Weise der Vibrationshypothese zu nahe tritt, begehen wir eben so wenig eine Inconsequenz, als wenn wir der Kürze wegen von dem Auf- und Untergange der Sonne sprechen, obschon wir denselben nur für scheinbar, nur für eine Folge der Axendrehung der Erde ansehen.

So lange wir also das Wort Lichtstrahl nur in dem Sinne, wie oben angegeben, gebrauchen, werden wir uns desselben ohne Nachtheil bedienen können.

Schatten. Das von einem leuchtenden Körper ausgehende Licht verbreitet sich um denselben nach allen Richtungen hin. Wird von einem Raume durch das Zwischentreten eines undurchsichtigen Körpers das Licht abgehalten, so bezeichnen wir diesen Raum als Schatten. Ist z. B. AB, Fig. 79, der

(Fig. 79.)

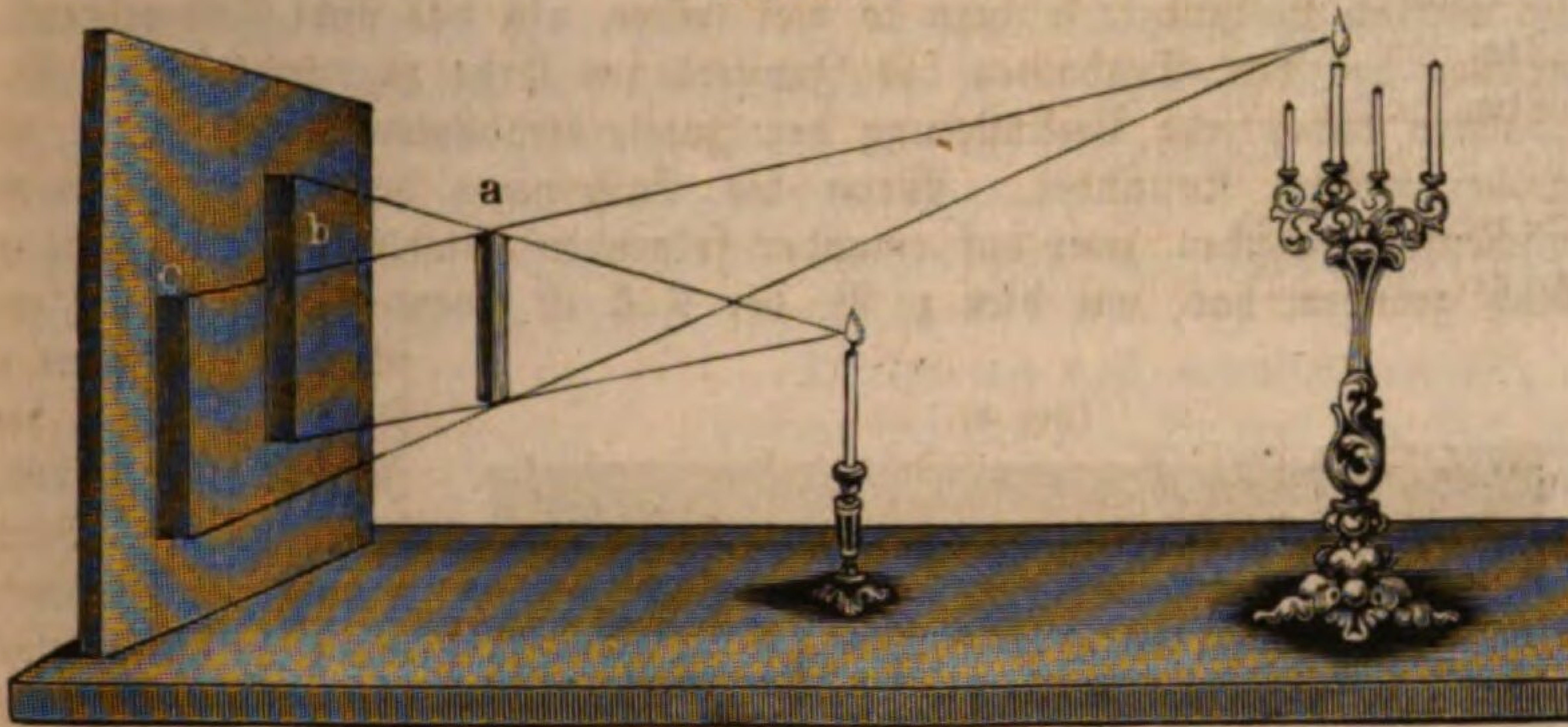


Durchmesser der Sonne, CD der Durchmesser des Mondes, so werden von dem kegelförmigen Raume CDE die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Man nennt diesen Raum Kernschatten; dagegen führt der Raum zwischen CG und CK und zwischen DH und DL den Namen Halbschatten, indem in denselben noch ein Theil der Sonnenstrahlen gelangt. Ein innerhalb des Kernschattens CDE befindliches Auge kann die Sonne gar nicht sehen, wie dieß z. B. bei einer totalen Sonnenfinsterniß der Fall ist. Befindet sich dagegen ein Auge innerhalb des Halbschattens, etwa bei c, so ist demselben noch ein Theil der Sonne Aa sichtbar und nur der Anblick des Theiles aB entzogen. Es würde also dieses Auge die Erscheinung einer partialen Sonnenfinsterniß haben. Ein in dem kegelförmigen Raume LEK etwa bei d befindliches Auge, wird sowohl den Punkt A, als auch den Punkt B und die diesen zunächstliegenden Theile der Sonnenscheibe Aa und Bb noch sehen können; dagegen wird für dasselbe der mittlere Theil der Sonne ab unsichtbar sein. Das Auge wird also den Rand der Sonne in Form eines Ringes, mit einem Worte eine ringförmige Sonnenfinsterniß erblicken.

Erleuchtung. Je weiter sich das von einem leuchtenden Körper ausgehende Licht verbreitet, um so mehr nimmt die Stärke desselben ab, und zwar geschieht diese Abnahme in dem quadratischen Verhältnisse der Entfernung; ein Licht leuchtet also in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung 4-, 9-, 16mal schwächer. Oder in der doppelten, dreifachen,

vierfachen Entfernung sind 4, 9, 16 Lichter erforderlich, um eben so stark zu leuchten, als ein Licht in der einfachen Entfernung. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man eine Kerze in einiger Entfernung von einer weißen Wand und in der doppelten Entfernung vier eben solche Kerzen so aufstellt, daß die Schatten b und c, Fig. 80, welche die eine Kerze und

(Fig. 80.)



die vier Kerzen von einem undurchsichtigen Körper a auf die weiße Wand werfen, nahe neben einander fallen. Man wird dann finden, daß beide Schatten gleich dunkel erscheinen, wenn der Abstand der einen Kerze von der weißen Wand halb so groß ist, als der Abstand der vier Kerzen, daß dagegen der Schatten b mehr oder weniger dunkel, als c erscheint, wenn das eine Licht der weißen Wand genähert oder von derselben entfernt wird, während die vier Kerzen an der nehmlichen Stelle bleiben.

Das eben Gesagte findet eine nützliche Anwendung in der Photometrie, d. h. in der Kunst, die Stärke zweier Lichter, z. B. einer Gasflamme und einer Kerzenflamme zu vergleichen. Finden wir nehmlich, daß beide auf eine weiße Wand von einem undurchsichtigen Körper gleich dunkle Schatten werfen, wenn die Gasflamme von der weißen Wand doppelt so weit entfernt ist, als die Kerzenflamme, so ist die Lichtstärke der ersteren viermal so groß, als die der letzteren. Ueberhaupt verhalten sich unter der angegebenen Bedingung die Lichtstärken zweier Flammen wie die Quadraten ihrer Entfernung von der weißen Wand.

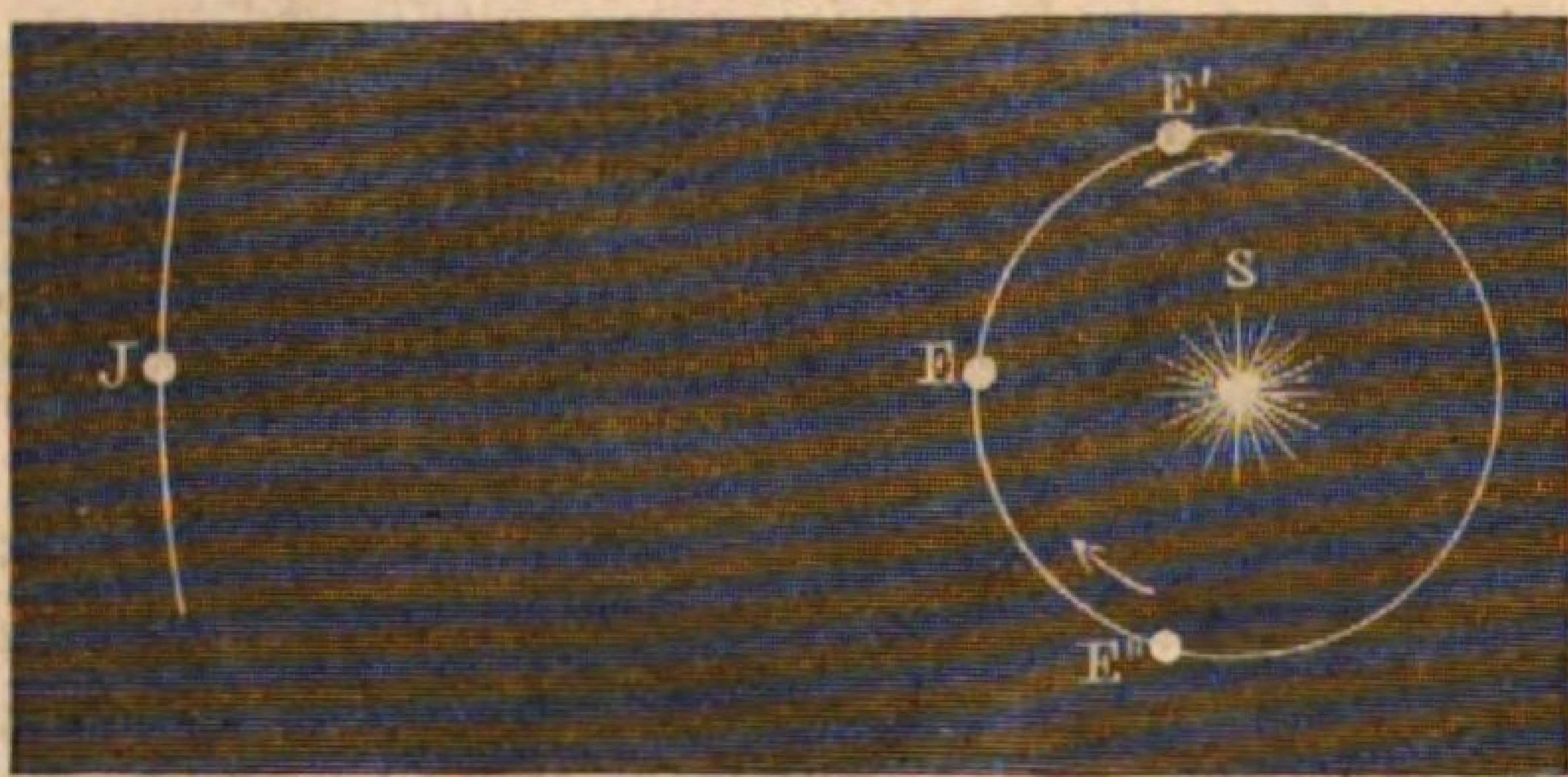
Indem wir annehmen, daß das Vorhergehende ausreichen wird, unseren Lesern die Möglichkeit photometrischer Abmessungen zu zeigen, übergehen wir die Beschreibung der für die größere Bequemlichkeit und Genauigkeit dieser Messungen erfundenen Apparate und führen nur noch an, daß nach Wollaston das Licht der Sonne 5500mal so stark ist, als das Licht einer Kerze in ein Fuß Entfernung und 800,000mal so stark, als das Licht des Vollmondes.

Eben so erinnern wir nur kurz daran, daß bei senkrecht auffallenden Strahlen die Stärke der Erleuchtung am größten ist, und daß dieselbe um so mehr abnimmt, je schiefer die Strahlen auffallen.

Das Licht pflanzt sich zwar mit sehr großer Geschwindigkeit, aber doch nicht augenblicklich fort. Wir verdanken dem Scharfsinne des dänischen Astronomen Römer die erste Kenntniß der Geschwindigkeit des Lichtes, welcher dieselbe (1675) aus den Beobachtungen der Trabanten des Jupiters Geschwindigkeit des Lichtes.

abgeleitet hat. Die vier diesen größten aller Planeten umkreisenden Trabanten sind demselben so nahe, daß sie bei jedem Umlaufe durch den Schatten desselben hindurchgehen und also verfinstert werden. (Nur bei dem äußersten ist dieß nicht jedesmal der Fall.) Wegen der großen Entfernung des Jupiters von unserer Erde nehmen wir durch unsere Fernröhre den Eintritt einer Finsterniß nicht in dem nehmlichen Augenblick wahr, in welchem derselbe wirklich stattfindet, sondern so viel später, als das Licht Zeit gebraucht, den Weg von dem Trabanten des Jupiters zur Erde zu durchlaufen. Wir beobachten daher jede Verfinsterung der Jupiterstrabanten etwas später, als dieselbe wirklich stattfindet. Wenn die Entfernung des Jupiters in der Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Finsternissen sich nicht erheblich geändert hat, wie dieß z. B. der Fall ist, wenn die Erde sich zwischen der Sonne S, Fig. 81, und dem Jupiter J in E befindet, so wird die Verzögerung der Wahrnehmung beidemal gleich viel betragen und daher die Zwischenzeit zwischen den beobachteten Eintritten der Zwischenzeit zwischen den wirklichen Eintritten der Finsternisse gleich sein; hat dagegen die Entfernung des Jupiters von der Erde sich in der Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Finsternissen vergrößert oder verkleinert, wie dieß z. B. der Fall ist, wenn die Erde in ihrer Bahn zu den Punkten E′ oder E″ gelangt ist, so wird im ersteren Falle die Zwischenzeit zwischen den beobachteten Eintritten um so viel zu groß, im anderen um so viel zu klein ausfallen, als das Licht Zeit gebraucht, einen Weg von der Länge zu durchlaufen, um welche die Entfernung der Erde vom Jupiter sich in der Zwischenzeit vergrößert oder verkleinert hat.

(Fig. 81.)



Nun findet man z. B. für den nächsten Trabanten des Jupiters, daß, wenn die Erde sich in E befindet, die Zeit zwischen der Beobachtung einer Finsterniß bis zur nächstfolgenden 42 Stunden 28 Minuten 28 Secunden, dagegen in E′ 14 Secunden mehr, in E″ 14 Secunden weniger beträgt. Wenn die Erde sich in E′ befindet, so vergrößert sich ihre Entfernung vom Jupiter in der angegebenen Zeit um 590,000 Meilen (ohngefähr), und sie vermindert sich um eben so viel, wenn die Erde sich in E″ befindet. Das Licht muß folglich 14 Secunden brauchen, um 590,000 Meilen zurückzulegen, woraus sich als die Geschwindigkeit des Lichtes für eine Secunde 42,000 Meilen ergeben.

Da die Sonne von der Erde ohngefähr 21 Millionen Meilen entfernt ist, so braucht hiernach das Licht 8 Minuten 13 Secunden, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

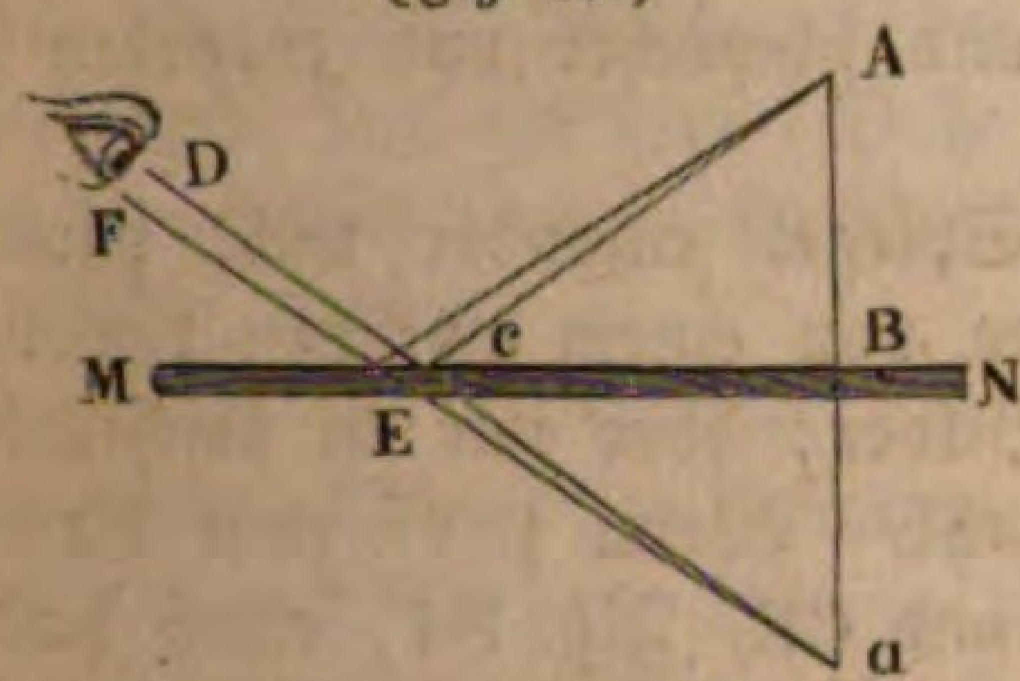
Zurückwerfung des Lichtes. So wie in dem angeführten Beispiele der Jupiter und seine Trabanten uns nicht durch ihr eigenes Licht, sondern durch das Licht, welches von der Sonne auf dieselben fällt, sichtbar werden, so nehmen wir überhaupt nur wenige Körper, wie die Sonne, durch ihr eigenes Licht wahr; bei weitem

die meisten Körper nehmen wir durch das Licht wahr, welches von selbstleuchtenden Körpern auf dieselben fällt und von ihnen zurückgeworfen wird. In Hinsicht dieses zurückgeworfenen Lichtes gilt das bekannte Gesetz, daß der reflectirte Strahl mit der reflectirenden Fläche denselben Winkel wie der einfallende bildet.

Spiegel.

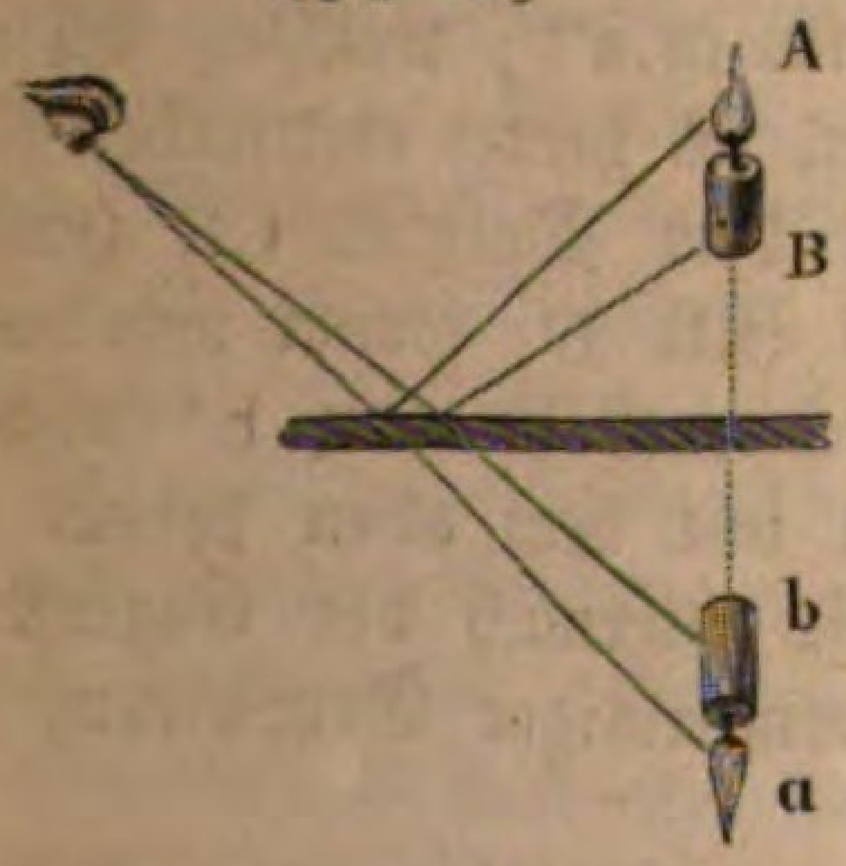
Dieses Gesetz tritt am deutlichsten an glatten und polirten Flächen, welchen wir den Namen Spiegel geben, hervor. Bekanntlich erblicken wir in einem ebenen Spiegel von Gegenständen vor demselben Bilder, welche eben so weit hinter dem Spiegel liegen, als die Gegenstände sich vor demselben befinden und mit den abgespiegelten Gegenständen in der Größe und Gestalt übereinstimmen. Diese Erscheinungen sind eine unmittelbare Folge des soeben ausgesprochenen Reflexionsgesetzes.

(Fig. 82.)



Denken wir uns nehmlich zunächst, es befinde sich vor dem Spiegel MN, Fig. 82, ein leuchtender Punkt A. Ein von demselben ausgehender und senkrecht auf den Spiegel fallender Strahl AB, welchem man den Namen Hauptstrahl giebt, wird vermöge des angeführten Gesetzes in sich selbst, ein schief auffallender Strahl AC in der Richtung CD so zurückgeworfen, daß Winkel ACN gleich DCM ist. Wenn wir daher den zurückgeworfenen Strahl CD verlängern, bis er die Verlängerung von AB in a schneidet, so ist auch Winkel aCB gleich ACB und folglich auch aB gleich AB; d. h. irgend ein schief auffallender und von dem Spiegel in der Richtung CD zurückgeworfener Strahl schneidet verlängert die Verlängerung des Hauptstrahls in einen Punkt a, welcher eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt selbst sich vor dem Spiegel befindet. Da alle reflectirten Strahlen dem nehmlichen Gesetze der Reflexion unterworfen sind, so wird auch jeder andere schiefe Strahl AE so zurückgeworfen, daß die Verlängerung des reflectirten Strahles EF durch den Punkt a geht. Die reflectirten Strahlen CD, EF u. s. w. haben also ganz die Richtung, als wenn sie von dem Punkte a hinter dem Spiegel ausgegangen wären, und ein von diesen Strahlen getroffenes Auge muß daher in a ein Bild des leuchtenden Punktes A erblicken.

(Fig. 83.)



Befindet sich vor dem Spiegel ein leuchtender Gegenstand AB, Fig. 83, so entsteht, wie wir eben gezeigt haben, von dem Punkte A in a und von dem Punkte B in b ein Bild hinter dem Spiegel in der nehmlichen Entfernung, in welcher diese Punkte vor dem Spiegel liegen, und da die Bilder der zwischen A und B liegenden Punkte offenbar zwischen a und b zu liegen kommen, so hat das aus diesen zusammengesetzte Bild ab ganz gleiche Größe und Gestalt mit dem Gegenstande AB und liegt eben so weit hinter dem Spiegel, als dieser vor dem Spiegel.

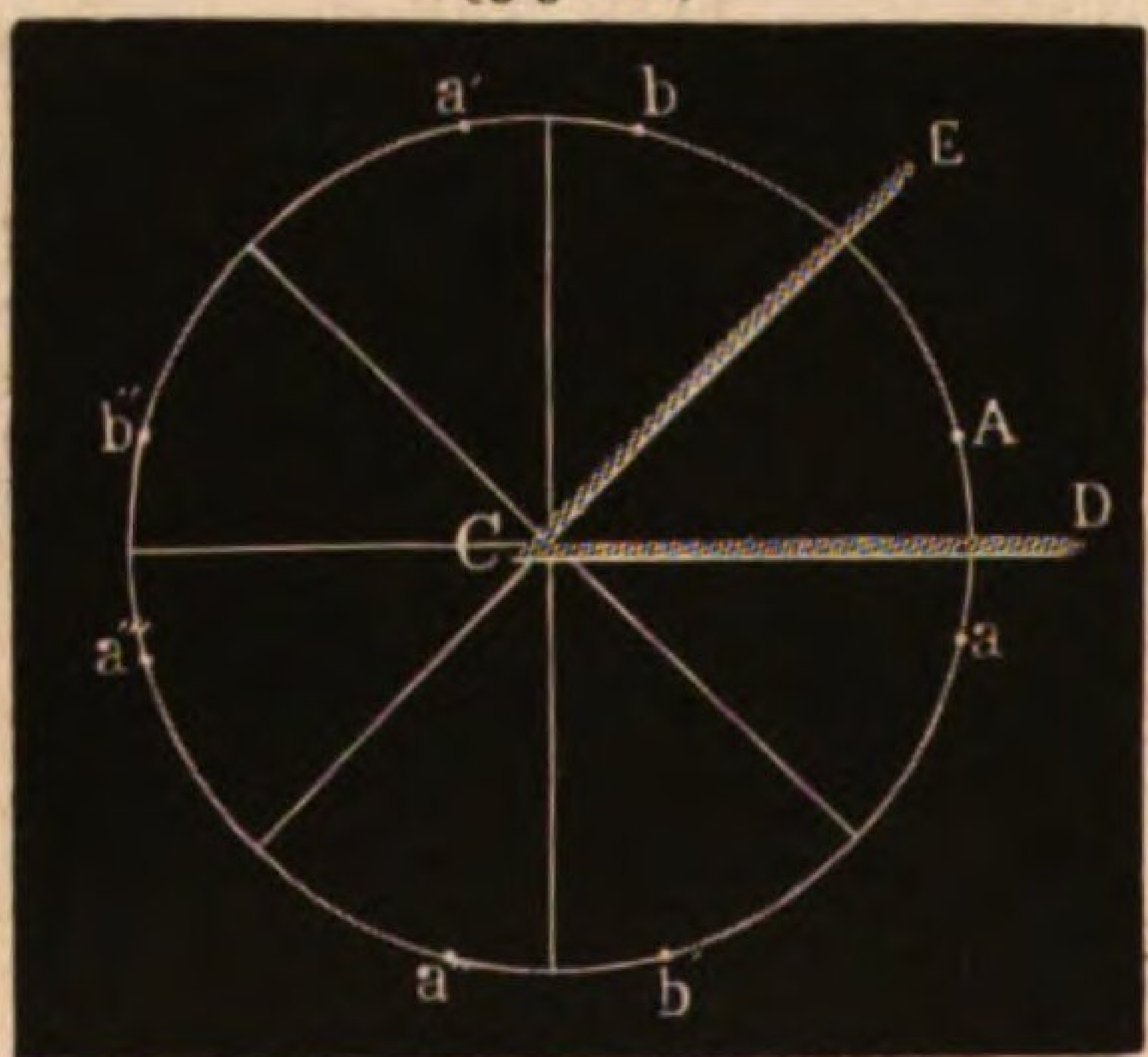
Der Planspiegel, dessen Theorie wir hier entwickelt haben, findet nicht blos im gewöhnlichen Leben, sondern auch zu wissenschaftlichen Zwecken, ins Besondere bei optischen Instrumenten vielfache Anwendung, wovon wir weiter unten einige Beispiele kennen lernen werden.

Man wendet für letztere Zwecke gewöhnlich Metallspiegel an, da die mit Zinnfolie belegten Glasspiegel doppelte Bilder geben, indem sowohl die vordere, als auch die hintere belegte Seite das Licht reflectirt. Wenn wir uns selbst in einem Spiegel besehen, so nehmen wir das doppelte Bild nicht wahr, weil das hintere Bild durch das vordere Bild bedeckt wird. Wenn wir uns aber seitwärts vor einen Spiegel stellen, so werden wir von einem an der anderen Seite befindlichen schmalen Gegenstande, z. B. einer Kerze, leicht zwei Bilder, vielleicht auch noch ein drittes und viertes erblicken. Letztere Bilder entstehen dadurch, daß das von der einen spiegelnden Fläche erzeugte Bild sich wieder in der anderen abspiegelt u. s. f.

Hängen wir zwei Spiegel einander parallel gegenüber auf, so entstehen von einem zwischen beiden befindlichen Gegenstande unzählige Bilder; denn jedes in dem einen entstandene Bild erzeugt wieder ein Bild in dem anderen. Die späteren Bilder werden jedoch schwächer und schwächer und entziehen sich so allmälig der Wahrnehmung.

Winkelspiegel. Wenn dagegen zwei sich zugewendete Spiegel einander nicht parallel sind, sondern einen Winkel bilden, so entstehen von einem zwischen denselben befindlichen Gegenstande zwar auch mehrere Bilder, aber nur in beschränkter Anzahl. Wenn z. B. zwei Spiegel CD und CE, Fig. 84, einen halben rechten Winkel einschließen, und sich zwischen denselben ein leuchtender Gegenstand in A befindet, so entsteht, wenn wir ferner zur leichteren Construction der Lage der Bilder um C mit dem Abstande CA einen Kreis beschreiben und den zwischen CD und CE fallenden Bogen achtmal auf die ganze Peripherie des Kreises auftragen, von dem zwischen den Spiegeln befindlichen Gegenstande A zunächst in dem Spiegel CD ein Bild in a; dieses erzeugt in dem Spiegel CE ein zweites Bild in a′; dieses bildet sich wieder ab in dem Spiegel CD und zwar in a″; das hier entstandene Bild gibt endlich noch in dem Spiegel CE ein Bild in a‴, welches sich aber nicht weiter in dem Spiegel CD abbilden kann, weil es hinter demselben liegt.

(Fig. 84.)



Weiter entsteht von dem Gegenstande A in dem Spiegel CE zunächst das Bild b, von diesem in dem Spiegel CD das Bild b′, ferner von diesem Bilde in dem Spiegel CE das Bild b″; endlich entsteht von b″ noch in dem Spiegel CD ein Bild in a‴, welches daher mit dem oben bereits angeführten Bilde zusammenfällt. Es erscheint also hiernach der Gegenstand in dem Winkelspiegel achtmal vervielfältigt in sternförmiger Gruppirung um den Mittelpunkt C.

Wir brauchen unsere Leser wohl nicht erst daran zu erinnern, daß in dem eben Vorgetragenen die Erklärung der Erscheinungen enthalten ist, welche das sogenannte Kaleidoskop darbietet. Wir bemerken nur noch, daß die Zahl der Bilder um so größer ausfällt, je kleiner der Winkel ist, welchen die Ebenen der beiden Spiegel einschließen. Man sieht nehmlich im Allgemeinen den Gegenstand so vielmal vervielfältigt, als die Zahl der Grade jenes Winkels in 360 Grad enthalten ist.

Das Vorhergehende betraf die Reflexion des Lichtes von glatten, polirten Flächen, von Spiegeln, und die in denselben entstehenden Bildern von vor ihnen befindlichen Gegenständen. Allein das reflectirte Licht übt eine noch viel wichtigere und nützlichere Wirkung aus; es macht uns die Gegenstände selbst sichtbar, von denen es zurückgeworfen wird. Wir verdanken die Kenntniß fast sämmtlicher auf unserer Erde befindlichen Gegenstände nicht dem eigenen Lichte derselben, sondern lediglich dem reflectirten, dem Lichte, welches unmittelbar oder mittelbar von der Sonne auf dieselben fällt und von ihnen zurückgeworfen wird. Unregelmäßige Reflexion.

Wir haben oben angegeben, daß das Licht immer unter demselben Winkel von einer Fläche reflectirt wird, unter welchem es auffällt. Nehmen wir an, die Oberfläche eines Gegenstandes werde von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen, so werden dieselben auch senkrecht zurückgeworfen; und wenn die Sonnenstrahlen schief von einer Seite her auffallen, so werden sie schief nach der anderen Seite reflectirt. Wie geht es denn nun zu, daß wir den Gegenstand nicht blos nach dieser Seite, sondern nach allen Seiten hin sehen können?

Wäre die Oberfläche der vom Sonnenlichte mittelbar oder unmittelbar getroffenen Körper vollkommen eben, so würden die in einer bestimmten Richtung auffallenden Sonnenstrahlen auch nur nach einer Richtung zurückgeworfen werden. Ein außerhalb dieser Richtung befindliches Auge würde von dem reflectirten Lichte gar nicht getroffen werden, und selbst ein in dieser Richtung befindliches Auge würde dennoch nicht die reflectirende Fläche, sondern das in derselben abgespiegelte blendende Bild der Sonne erblicken. Glücklicher Weise hat nun der Schöpfer der so mannigfaltig und schön geformten Körperwelt, welche wir auf unserer Erde antreffen, nicht glatte, sondern rauhe Oberflächen verliehen, welche an jeder Stelle mit den mannigfaltigsten Erhabenheiten und Vertiefungen versehen sind und daher auch das nur in einer Richtung auffallende Licht nicht bloß nach einer, sondern nach allen möglichen Richtungen zurückwerfen.

Man unterscheidet hiernach die **regelmäßige Reflexion**, durch welche in glatten spiegelnden Flächen Bilder der vor denselben befindlichen Gegenständen entstehen, und die **unregelmäßige Reflexion**, welche uns die reflectirende Fläche selbst sichtbar macht. Wunderbar, daß gerade die anscheinende Unregelmäßigkeit für uns zur wohlthätigsten Regel wird, durch welche wir zur Kenntniß der unendlichen Mannigfaltigkeit der uns umgebenden Körperwelt gelangen.

Der unregelmäßigen Reflexion verdanken wir auch die Erscheinung der **Morgen- und Abenddämmerung**. Wenn die Sonne nur wenig unter den Horizont herabgesunken ist, erleuchten die Strahlen derselben noch die in den oberen Luftschichten schwebenden Staubtheilchen, Dunstbläschen oder feinen Eisnadeln. Indem diese die auffallenden Sonnenstrahlen nach den unteren Luftschichten und der Erdoberfläche reflectiren, veranlassen sie die Erscheinung der Dämmerung. Das Licht, welches auf die angegebene Art zur Erdoberfläche gelangt, ist natürlich um so schwächer, je tiefer die Sonne unter dem Horizonte steht; es wird unmerklich, wenn die Sonne tiefer, als 18° unter dem Horizonte steht. Da zur Zeit der längsten Sommertage in Deutschland (und in den noch nördlicher gelegenen Ländern) die Sonne nicht bis zu dieser Tiefe unter den Horizont herabgeht, so dauert in dieser Jahreszeit die Dämmerung die ganze Nacht hindurch. Sie ist am kürzesten in Morgen- und Abenddämmerung.

den Monaten März und October und dauert dann (in Deutschland) nur etwa zwei Stunden.

Die Dämmerung ist in der Nähe des Aequators kürzer, als in höheren Breiten, weil am Aequator die Sonne in senkrechter Richtung unter den Horizont sinkt. Auch dürfte noch hierzu die Reinheit der Atmosphäre in den tropischen Gegenden beitragen.

Brechung des Lichtes. Die optischen Erscheinungen, welche wir bis jetzt unseren Lesern vorgeführt haben, stützen sich auf die zwei Sätze: Das Licht pflanzt sich in gerader Linie fort und wird von der Oberfläche der Körper, auf welche es fällt, unter dem nehmlichen Winkel, unter welchem es auffällt, zurückgeworfen. Der erste dieser beiden Sätze erleidet jedoch eine Einschränkung, wenn das Licht aus einer durchsichtigen Materie in eine andere, z. B. aus Luft in Wasser oder Glas übergeht. Nur wenn das Licht auf das Wasser oder Glas senkrecht auffällt, behält es nach dem Eintritte in dasselbe die Richtung bei, welche es vorher in der Luft hatte. Bei schiefem Auffallen dagegen wird das Licht von der geraden Linie abgelenkt, oder, wie man sagt, gebrochen, ein Ausdruck, welcher davon entlehnt sein dürfte, daß ein schief ins Wasser gehaltener Stab gebrochen erscheint.

Ein anderer leicht anzustellender Versuch, welcher die Brechung des Lichtes, die Ablenkung desselben von der geraden Linie zeigt, wenn das Licht aus einer durchsichtigen Substanz in eine andere übergeht, ist folgender:

Auf den Boden eines Gefäßes mit undurchsichtigen Wänden wird eine Münze gelegt; hierauf tritt der Beobachter so weit zurück, daß der oberste Rand des Gefäßes die Münze eben verdeckt; wird dann in das Gefäß Wasser gegossen, so wird die Münze dem Auge des Beobachters, ohne daß dieses seine Lage verändert hat, wieder sichtbar.

Ein von der Münze a, Fig. 85, ausgehender und die Oberfläche des Wassers in b in schiefer Richtung treffender Lichtstrahl ab wird nehmlich bei dem Uebergange aus dem Wasser in die Luft in eine noch schiefere Richtung bO abgelenkt. Das in O befindliche Auge des Beobachters erblickt daher die Münze in der verlängerten Linie Ob, etwa in c, während dasselbe die Münze a, so lange in dem Gefäße nicht Wasser, sondern Luft war, nicht wahrnehmen konnte, weil eine zwischen a und O gezogene gerade Linie den undurchsichtigen Rand des Gefäßes durchschneidet.

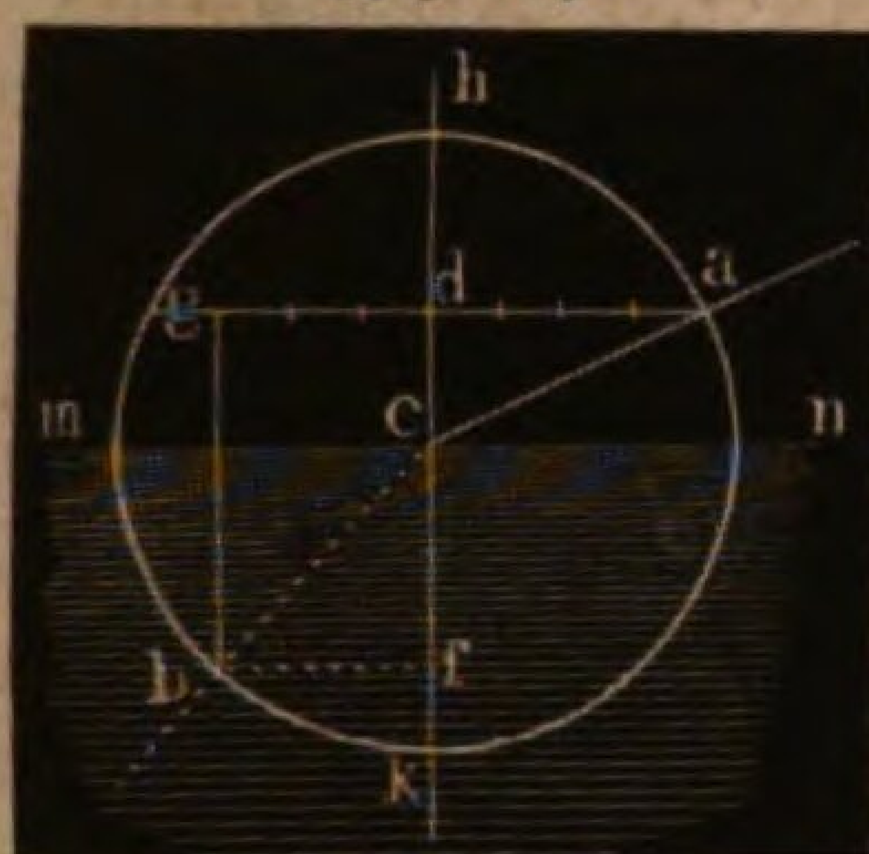
(Fig. 85.)



So wie die unter dem Wasser befindliche Münze a dem Auge in O nach c hin gehoben sich zeigt, so gilt das Nehmliche auch von allen Punkten des Bodens. Es erscheint daher das mit Wasser gefüllte Gefäß, und eben so erscheinen Flüsse und Teiche weniger tief, als sie wirklich sind; aus gleichen Gründen scheinen Fische und andere unter der Oberfläche des Wassers befindliche Gegenstände derselben näher zu sein, als in der Wirklichkeit der Fall ist; aus dem nehmlichen Grunde erscheint der ins Wasser schief gehaltene Stab gebrochen, weil nehmlich der im Wasser befindliche Theil sich nicht in seiner wahren Lage, sondern höher herauf gerückt zeigt.

Ehe wir unseren Lesern dasjenige Naturgesetz vortragen, welchem die Brechung des Lichtes unterworfen ist, haben wir noch zu bemerken, daß man gewöhnlich die durchsichtige Substanz, in welcher sich das Licht fortbewegt, das Medium oder Mittel und eine Linie, senkrecht auf die Fläche gezogen, in welcher sich zwei verschiedene Mittel, wie Luft und Wasser, berühren, das Einfallsloth nennt. Ist also über mn, Fig. 86, Luft, unter mn Wasser, ac ein einfallender Lichtstrahl in der Luft, cb der gebrochene Strahl im Wasser, so ist die senkrecht auf mn gezogene Linie hck das Einfallsloth. Dies vorausgeschickt, können wir nun über die Brechung des Lichtes folgende Regeln aufstellen: Das Brechungsgesetz.

(Fig. 86.)



Das senkrecht einfallende Licht geht allemal ungebrochen durch; ein in der Richtung des Einfallslothes ch einfallender Strahl geht also in der nehmlichen Richtung ck fort.

Das schief auffallende Licht dagegen wird von der geraden Linie abgelenkt und zwar, wenn dasselbe aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht, in der Regel zum Einfallslothe, dagegen vom Einfallslothe, wenn dieser Uebergang aus einem dichteren in ein dünneres Mittel erfolgt. Wenn also z. B. ac der einfallende Strahl in der Luft und bc der gebrochene Strahl im Wasser ist, so fällt dieser näher an das Einfallsloth hck, als jener. Wenn dagegen in b sich ein leuchtender Punkt im Wasser befindet, und ein von demselben ausgehender Strahl bc die Oberfläche des Wassers in c trifft, so weicht der in die Luft austretende gebrochene Strahl ac mehr von dem Einfallslothe ab, als der einfallende Strahl bc im Wasser.

Die eben ausgesprochene Regel, daß dichtere Körper das Licht stärker brechen, als weniger dichte, gilt unbedingt, wenn beide Körper aus der nehmlichen Materie bestehen. Wenn das Licht z. B. aus dünnerer Luft in dichtere übergeht, so wird dasselbe jedenfalls zum Einfallslothe gebrochen. Bei zwei verschiedenen Substanzen kann man jedoch nicht allemal behaupten, daß die dichtere das Licht stärker bricht, als die weniger dichte. So sind z. B. Spiritus und Terpentinöl bekanntlich leichter, als Wasser, und doch brechen beide das Licht stärker, als dieses. Ueberhaupt brechen brennbare Körper das Licht stärker, als andere Körper von gleicher Dichtigkeit. So bricht z. B. der Diamant das Licht so auffallend stark, daß Newton schon hieraus auf die Brennbarkeit desselben schloß.

Die Regel, nach welcher man, wenn die Lage des einfallenden Strahles ac gegeben ist, die Lage des gebrochenen Strahles finden kann, ist zuerst ums Jahr 1620 von einem holländischen Physiker Snellius entdeckt worden. Um diese Regel unseren Lesern bequemer, ohne Voraussetzung ausgedehnterer mathematischer Kenntnisse, vortragen zu können, wollen wir von einem bestimmten Falle ausgehen und annehmen, daß der einfallende Strahl ac, Fig. 87, bei c aus Luft in Wasser übergeht. Man findet dann nach der Regel des Snellius den gebrochenen Strahl, wenn man um c mit einem beliebigen Radius ac einen Kreis beschreibt, aus dem Punkte a auf das Einfallsloth hk eine Senkrechte ad fällt, dieselbe in vier gleiche Theile theilt und auf die über d fortgesetzte Verlängerung dieser Linie drei solcher Theile

(Fig. 87.)



aufträgt, ferner durch den Endpunkt g eine Parallele mit dem Einfallslothe zieht und endlich den Punkt b, in welchem diese den Kreis schneidet, mit c verbindet. Dann ist bc der zu dem Strahle ac in der Luft gehörige gebrochene Strahl im Wasser.

Die Zahl, welche das Verhältniß der Linien ad und dg angiebt und für Luft und Wasser (sehr nahe) gleich $^4/_3$ ist, wird der **Brechungsexponent** genannt. Diese Zahl ist für verschiedene durchsichtige Substanzen verschieden, z. B. für Luft und Glas ohngefähr $^3/_2$, für Luft und Diamant $^5/_2$ u. dgl. m.

Erklärung der Brechung.

Nach der Vibrationshypothese beruht die Brechung des Lichtes darauf, daß der Aether in den Poren verschiedener Körper eine ungleiche Elasticität besitzt, und in Folge hiervon die das Licht fortpflanzenden Aetherwellen sich in denselben mit ungleicher Geschwindigkeit ausbreiten.

Wir begegnen auch hier wieder einer Analogie zwischen dem Schalle und dem Lichte, indem wir oben gesehen haben, daß auch der Schall sich in Luft, deren Elasticität durch Erwärmung vermehrt worden ist, rascher, als in kälterer Luft fortpflanzt. Eine nähere Begründung des Brechungsgesetzes nach der Vibrationshypothese würde uns jedoch hier zu weit führen. Wir bemerken nur noch, daß der Brechungsexponent für zwei Substanzen zugleich das Verhältniß der Geschwindigkeiten anzeigt, mit denen sich das Licht in denselben fortpflanzt. So ist z. B. der Brechungsexponent für den leeren Raum und Wasser ohngefähr gleich 4 zu 3; es muß sich folglich die Geschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume zu der im Wasser wie 4 zu 3 verhalten. Nun durchläuft das Licht im leeren Raume, wie wir oben gesehen haben, 42,000 Meilen in der Secunde; es würde folglich im Wasser nur 31,500 Meilen in der Secunde zurücklegen.

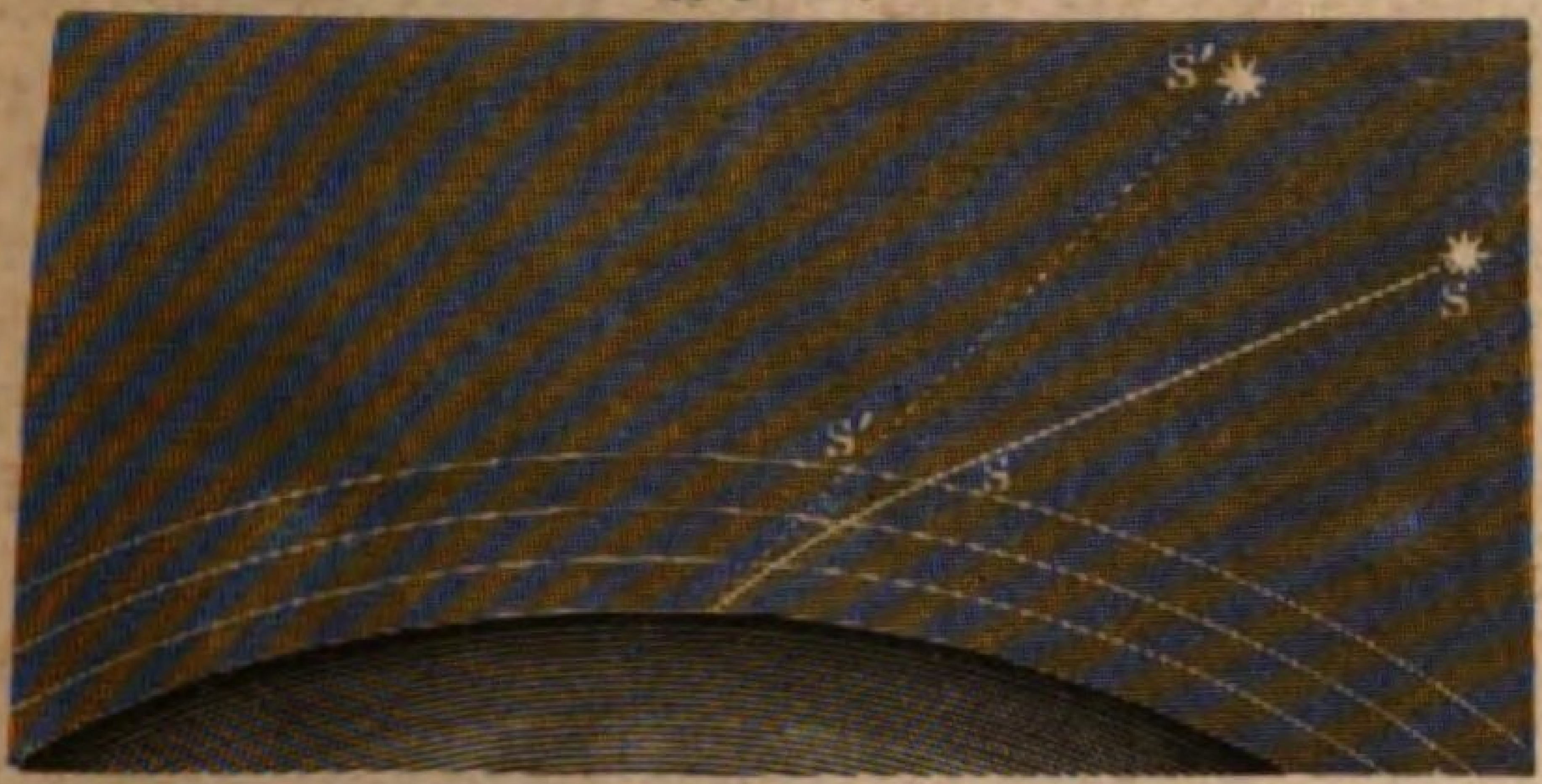
Nach diesen theoretischen Erörterungen wenden wir uns zu solchen Naturerscheinungen, welche ihre Erklärung in der Brechung des Lichtes finden.

Atmosphärische Strahlenbrechung.

So lange die von einem leuchtenden Körper ausgehenden Lichtstrahlen der geraden Linie folgen, zeigen sie einem von denselben getroffenen Auge den Gegenstand, von welchem sie ausgegangen sind, in der Richtung, in welcher sich derselbe wirklich befindet. Dieß ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn das Licht auf seinem Wege bis zum Auge eine Ablenkung von der geraden Linie, eine Brechung, erlitten hat. Das Auge erblickt den Gegenstand in der Richtung des gebrochenen Strahles, also in einer anderen Richtung, als in welcher er wirklich anzutreffen ist, wie uns das schon oben angeführte Beispiel der auf dem Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes befindlichen Münze gezeigt hat.

Einer eben solchen optischen Täuschung sind wir in Hinsicht der Gestirne des Himmels unterworfen; nur diejenigen Strahlen, welche in senkrechter Richtung aus dem leeren Raume in die Atmosphäre eintreten, gehen ungebrochen durch; die schief auffallenden Strahlen dagegen werden beim Eintritte in die Atmosphäre und bei dem Uebergange aus den höheren und dünneren in die unteren, dichteren Schichten zum Einfallslothe gebrochen. Indem dieselben so der senkrechten Richtung mehr genähert werden, erblickt das Auge den in der Richtung SS, Fig. 88, befindlichen Stern in der Richtung

(Fig. 88.)



S'S', also in größerer Höhe über dem Horizonte, als sich derselbe wirklich befindet.

Die Größe dieser Brechung ist am beträchtlichsten in der Nähe des Horizontes; sie nimmt dagegen mit der Annäherung an das Zenith rasch ab. Sie beträgt am Horizonte ohngefähr einen Winkel von einem halben Grad, in der Höhe von 45 Grad kaum noch eine Minute und verschwindet im Zenith.

Wenn man sich aus dem Auge zwei Linien nach den Enden eines Durchmessers der Sonnenscheibe gezogen denkt, so schließen diese Linien ebenfalls einen Winkel ein, welcher sehr nahe einen halben Grad beträgt. Man nennt diesen Winkel den Gesichtswinkel, auch den scheinbaren Durchmesser der Sonne. Für den Mond beträgt dieser Winkel ebenfalls ohngefähr einen halben Grad. Denn obschon der wahre Durchmesser des Mondes mehr als 400mal kleiner ist, als der Durchmesser der Sonne, so ist uns doch derselbe eben so vielmal näher, so daß bei totalen Sonnenfinsternissen uns die Sonne gänzlich durch den zwischentretenden Mond verdeckt werden kann.

Da nun die Strahlenbrechung am Horizonte einen halben Grad beträgt, und der Gesichtswinkel für Sonne und Mond ohngefähr die nehmliche Größe hat, so erblicken wir diese Gestirne eben über dem Horizonte und mit dem unteren Rande auf demselben ruhend, wenn sie in der Wirklichkeit den Horizont nur eben mit dem oberen Rande berühren und sich also ganz unterhalb desselben befinden. Indem so die Sonnenstrahlen am Morgen schon, ehe die Sonne sich merklich über den Horizont erhoben hat, am Abende noch, nachdem sie unter denselben bereits herabgesunken ist, zu uns gelangen, verdanken wir der Strahlenbrechung eine Verlängerung des Tages, welche für unsere Breiten etwa 7 bis 8 Minuten beträgt und für höhere Breiten noch viel beträchtlicher ist.

In nahem Zusammenhange mit der Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre dürfte auch das scheinbare Zittern oder Funkeln der Sterne stehen. Dasselbe wird durch die in der Atmosphäre beständig stattfindende Strömung kälterer und wärmerer Luft hervorgerufen. Eben so scheinen Gegenstände, welche man durch die Luft über einem geheizten Ofen erblickt, zu zittern. Das Funkeln oder Zittern ist beträchtlicher bei den Fixsternen, deren scheinbarer Durchmesser noch keine Secunde beträgt, als bei den scheinbar beträchtlich größeren Planeten; am Rande der Sonne und des Mondes aber ist dasselbe überhaupt nur durch stark vergrößernde Fernröhre wahrnehmbar.

Eine Folge sehr lebhafter Luftströmung dürfte die allerdings seltene, zuerst von Alexander von Humboldt 1799 auf Teneriffa, später auch von anderen Beobachtern und an anderen Orten wahrgenommene Erscheinung sein, daß Gestirne in der Nähe des Horizontes sich in einer schwankenden Bewegung zeigten.

So wie in Folge der Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre die Gestirne höher zu stehen scheinen, als dieselben wirklich sind, so erscheinen

uns auch entfernte Gegenstände auf der Erde, indem die von denselben ausgehenden Lichtstrahlen durch Schichten der Atmosphäre von ungleicher Dichtigkeit hindurchgehen und in denselben eine Brechung erleiden, in größerer Höhe, als sich dieselben wirklich befinden. Man unterscheidet hiernach die astronomische und die irdische oder terrestrische Strahlenbrechung. Die letztere ist für entfernte Gegenstände im Allgemeinen beträchtlicher, als für nähere, weil die von den ersteren ausgehenden Strahlen in der Atmosphäre einen weiteren Weg zurücklegen.

Die astronomische Strahlenbrechung sowohl, wie die terrestrische haben nicht beständig dieselbe Größe; sie hängen vielmehr von der Beschaffenheit der Atmosphäre, ins Besondere von der Dichtigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalte derselben ab. Wenn die atmosphärische Strahlenbrechung sehr beträchtlich ist, so kann es geschehen, daß Gegenstände für einige Zeit sichtbar werden, von denen für gewöhnlich, da sie unter dem Horizonte liegen, keine Strahlen ins Auge des Beobachters gelangen können. So wird zuweilen bei Hastings an der Küste von England die ohngefähr zehn Meilen entfernte Küste von Frankreich sichtbar, obschon eine beide Küsten verbindende gerade Linie die See durchschneiden würde.

Eben so sind wahrscheinlich die sogenannten Erscheinungen der Fata Morgana (Schlösser der Fee Morgana), welche besonders bei Reggio an der Küste Calabriens beobachtet werden, eine Folge einer ungewöhnlich starken Strahlenbrechung, welche für einige Zeit die Stadt Messina und ihre Umgebungen an der gegenüberstehenden Küste Siciliens sichtbar macht. Nach den zum Theil wohl auch durch die lebhafte Phantasie der Beobachter ausgeschmückten Erzählungen zeigen sich hier von Zeit zu Zeit prachtvolle Schlösser, eine Menge von Säulen, ganze Landschaften mit Cypressenhainen, weidende Heerden u. dgl. m., Gegenstände, welche jedoch nach kurzem Erscheinen bald wieder verschwinden.

Luftspiegelung. Andere nicht minder wundervolle und ebenfalls auf dem Gesetze der Strahlenbrechung beruhende Erscheinungen bietet die Luftspiegelung dar, welche sich theils auf dem Meere, theils auf dem Lande in sehr weit ausgedehnten Ebenen zeigt.

Man erblickt nehmlich zuweilen, besonders in sandigen Wüsten, an heißen, windstillen Tagen ferne Gegenstände, Häuser, Bäume, ja selbst ganze Landschaften gleichsam über den Horizont gehoben und von einer glänzenden spiegelnden Fläche, wie von einem Wasserspiegel, umgeben. Die Aehnlichkeit mit dem Wasser ist um so täuschender, da sich zugleich unter den Gegenständen das verkehrte Bild derselben zeigt. Nähert man sich aber dem Gegenstande, so wird der scheinbare Wasserspiegel immer schmaler, bis derselbe endlich nebst dem verkehrt abgespiegelten Bilde gänzlich verschwindet. Diese Täuschung war für die französischen Soldaten während der Expedition nach Aegypten, wo sich die Erscheinung der Luftspiegelung besonders schön und häufig zeigt, um so schmerzlicher, als dieselben vielfach sehr empfindlichen Mangel an Wasser litten.

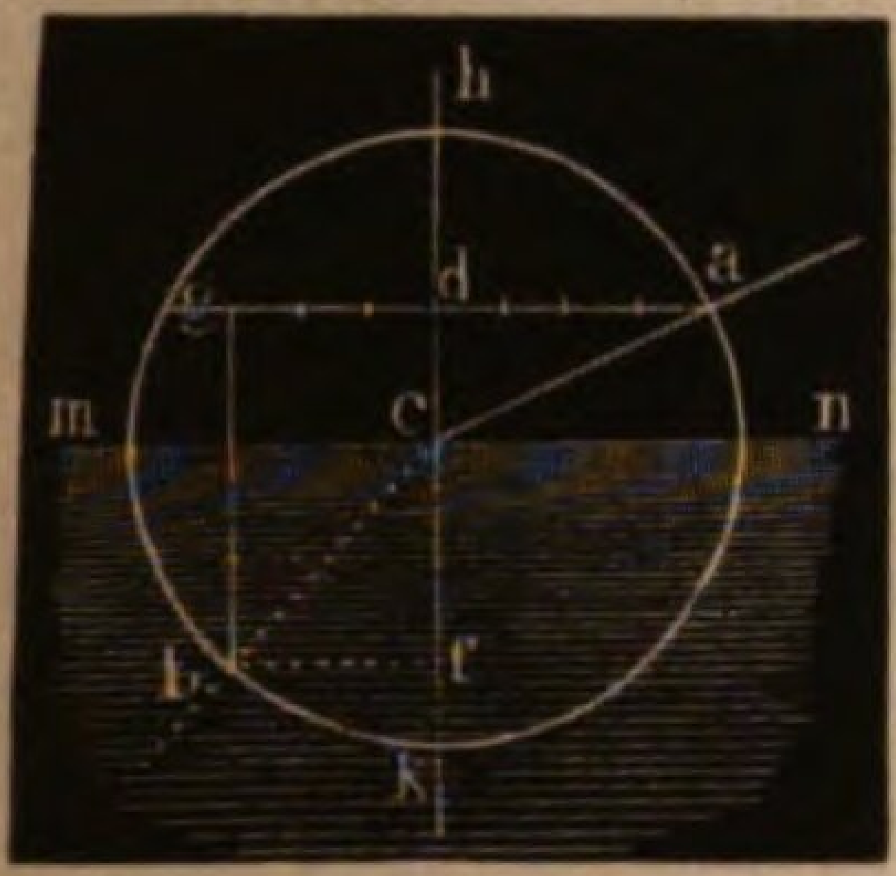
Auf der See erblickt man von fernen Gegenständen, z. B. von Schiffen, in Folge der Luftspiegelung nicht unter, sondern über denselben ein verkehrtes Bild.

Ehe wir auf die nähere Erklärung dieser Erscheinungen eingehen können, müssen wir noch einen Rückblick auf das oben vorgetragene Gesetz der Brechung werfen.

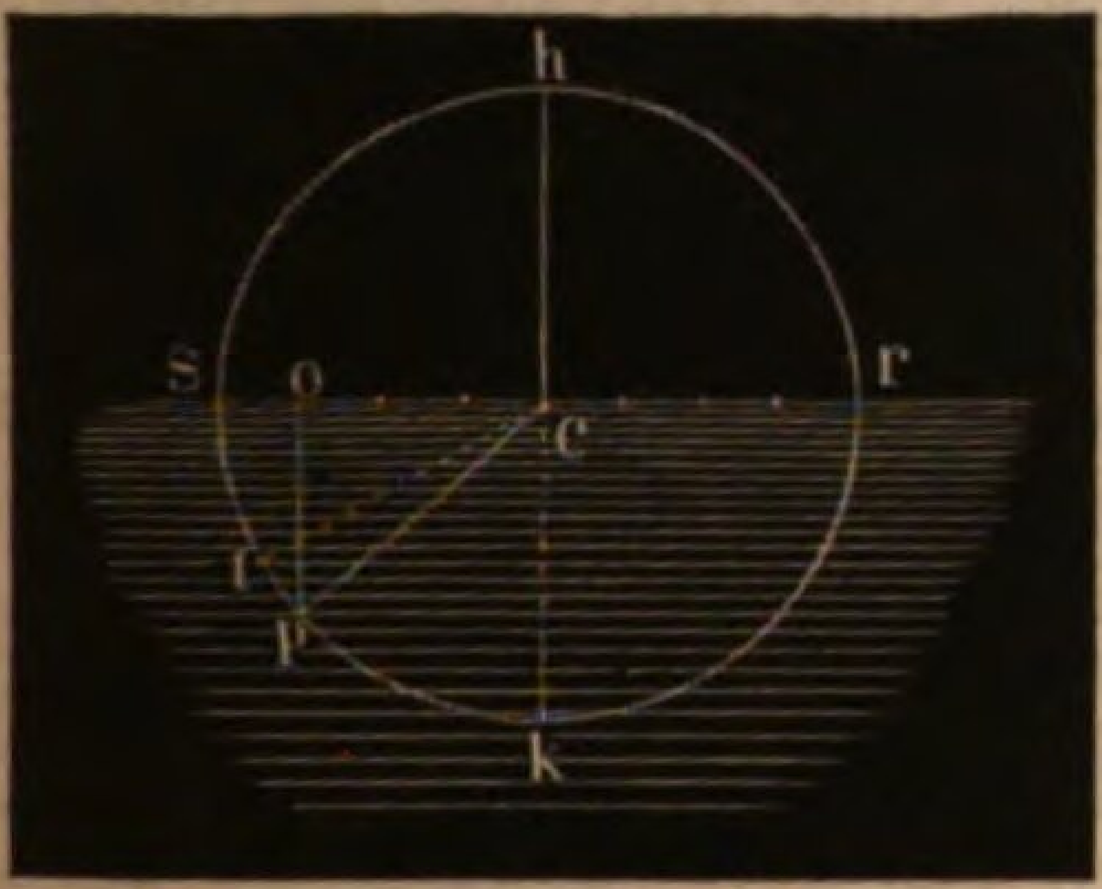
Totale Reflexion.

Halten wir uns auch jetzt an den schon dort erörterten Fall, daß ein Lichtstrahl aus Luft in Wasser übergeht, so zeigt uns, wenn ac, Fig. 89, der einfallende Strahl in der Luft ist, bc die Lage des gebrochenen Strahles im Wasser an. Erinnern wir uns an das Verfahren, nach welchem wir diesen oben gefunden haben, so ergiebt sich zwar sofort, daß mit dem Wachsthume des Einfallswinkels ach auch der Brechungswinkel bck zunimmt. Während jedoch der erstere bis zu 90⁰ wachsen kann, vermag der letztere, weil das Licht beim Uebergange aus Luft in Wasser zum Einfallslothe gebrochen wird, diese Größe niemals zu erreichen; vielmehr kann derselbe eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Wir finden diese Grenze, wenn wir, wie oben angegeben, cr, Fig. 90, in 4 gleiche Theile theilen, co gleich drei dieser Theile machen, op parallel hk ziehen und c mit p verbinden. Ein die Oberfläche des Wassers bei c äußerst schief und fast parallel mit derselben treffender Lichtstrahl wird in eine ganz nahe an cp fallende Richtung gebrochen, und alle Strahlen, welche bei c die Oberfläche des Wassers treffen und zwischen cr und ch liegen, werden folglich zwischen cp und ck gebrochen; keiner der gebrochenen Strahlen kann zwischen cp und cs fallen.

(Fig. 89.)



(Fig. 90.)



Der Grenzwinkel pck, welchen wir soeben construirt haben, beträgt für Luft und Wasser $48^1/_2$ Grad, also wenig mehr, als einen halben Rechten. Kein gebrochener Strahl im Wasser kann mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel, als $48^1/_2$ Grad bilden.

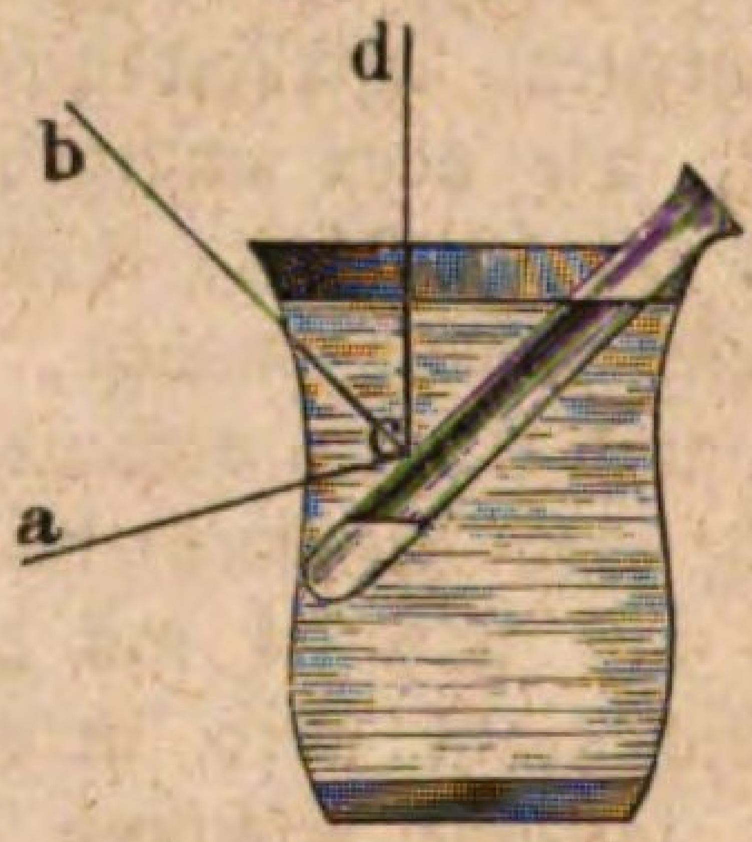
Denken wir uns umgekehrt einen leuchtenden Punkt im Wasser, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen, wenn sie an die Oberfläche des Wassers gelangen und in die Luft austreten, vom Einfallslothe gebrochen, und ein Strahl, welcher im Wasser mit dem Einfallslothe einen Winkel von beinahe $48^1/_2$ Grad bildet, wird nach der Brechung in der Luft von dem Einfallslothe beinahe um 90 Grad abweichen, also der Oberfläche des Wassers fast parallel sein; ein Strahl cl aber, welcher im Wasser mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel bildet, als $48^1/_2$ Grad, kann aus dem Wasser zu Folge des Brechungsgesetzes gar nicht austreten; ein solcher Strahl wird nicht gebrochen, sondern zurückgeworfen.

Wenn überhaupt Licht aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, so wird allemal nur ein Theil desselben durchgelassen, ein anderer Theil zurückgeworfen. Weil das durchgelassene und das zurückgeworfene Licht zusammen niemals dem gesammten auffallenden Lichte gleich sind, so geht folglich noch ein dritter Theil verloren, oder, wie man sagt, derselbe wird absorbirt. Je schiefer das Licht auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers auffällt, um so größer ist der reflectirte und um so kleiner der durchgelassene Theil; und wenn Licht in einem dichteren Mittel an die Grenz-

fläche gelangt, welche dieses von einem dünneren Mittel scheidet, so kann es geschehen, wie wir so eben gezeigt haben, daß der durchgelassene Theil gänzlich verschwindet, und nur noch der reflectirte Theil übrig bleibt. Dieser Fall tritt dann ein, wenn der Einfallswinkel eine gewisse Grenze, für Wasser und Luft, wie wir gesehen haben, $48^1/_2{}^0$ überschreitet, und wird die totale Reflexion genannt.

Wenn man in ein gläsernes Röhrchen, ein sogenanntes Probiergläschen, welches unten geschlossen ist, etwas Wasser gießt und dasselbe dann schief in ein Glas mit Wasser taucht, welches einem Fenster gegenüber aufgestellt ist, so erscheint einem auf das Röhrchen von Oben blickenden Auge der untere mit Wasser gefüllte Theil durchsichtig, der obere mit Luft gefüllte Theil dagegen undurchsichtig und stark glänzend, als wenn derselbe nicht Luft, sondern Quecksilber enthielte.

(Fig. 91.)



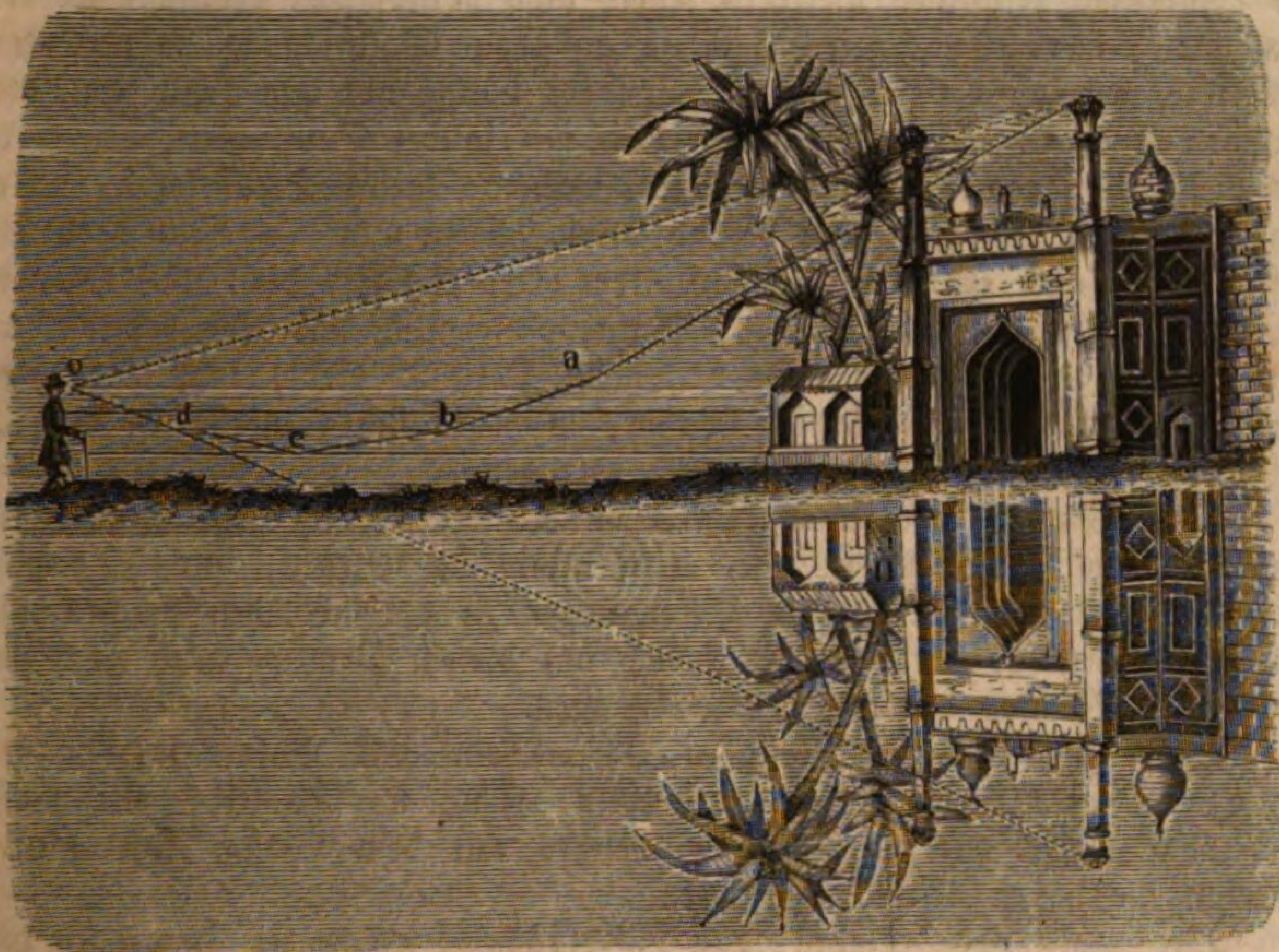
Ein in schiefer Richtung einfallender Lichtstrahl ac, Fig. 91, wird nehmlich bei c an der Grenzfläche des Gläschens und der Luft, wenn der Einfallswinkel acb die oben angegebene Grenze übersteigt, nicht durchgelassen, sondern erleidet die totale Reflexion und wird in der Richtung cd zurückgeworfen.

Eben so erscheinen kleine Luftbläschen im Wasser in Folge der totalen Reflexion wie glänzende, fast undurchsichtige Perlen; auf gleiche Weise werden uns durch dieselbe Sprünge in Gläsern, überhaupt leere Räume in durchsichtigen Körpern sichtbar gemacht.

Auch die oben beschriebenen Erscheinungen der Luftspiegelung beruhen auf der totalen Reflexion. Wenn der trockene Sand der Wüste durch die am wolkenlosen Himmel bis nahe zum Zenith emporsteigende Sonne sich stark erhitzt hat, so lagern zunächst über dem heißen Boden wärmere Luftschichten, deren Temperatur die der höher liegenden Luftschichten um mehrere Grade übertreffen kann; und obschon diese wärmeren Luftschichten vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes in den kälteren Luftschichten allmählig emporsteigen, diese aber zu Boden sinken müssen, so findet doch bei windstiller Witterung diese Mischung nur äußerst langsam statt. Wenn nun von einem über die erwärmten Luftschichten hervorragenden Gegenstande ein Lichtstrahl ab, Fig. 92, auf dieselben in schiefer Richtung fällt, so wird derselbe, da er mit der Annäherung an den Boden in immer wärmere, also dünnere Schichten gelangt, mehr und mehr vom Einfallslothe gebrochen; und indem dieser Lichtstrahl so eine immer schiefere Richtung annimmt, kann es geschehen, daß er zuletzt nicht mehr in die folgende dünnere Schicht eintritt, sondern an der Grenzfläche derselben, etwa bei c, die totale Reflexion erleidet. Wenn nun dieser zurückgeworfene Strahl cdo bei o in das Auge eines Beobachters gelangt, so erblickt dieser in der verlängerten Richtung des Strahles do ein verkehrtes Spiegelbild des Gegenstandes.

Damit ein solches zu Stande komme, müssen die von dem Gegenstande ausgehenden Strahlen offenbar unter einem sehr spitzen Winkel auffallen, da entgegengesetzten Falles dieselben durchgelassen und nicht reflectirt werden würden. Die Erscheinung der Luftspiegelung kann sich daher nur bei einer großen Entfernung des Beobachters vom Gegenstande, nur in ganz flachen, ebenen Gegenden, welche eine weite Fernsicht gestatten, zeigen; sie muß verschwinden, wenn der Beobachter sich dem abgespiegelten Gegenstande nähert.

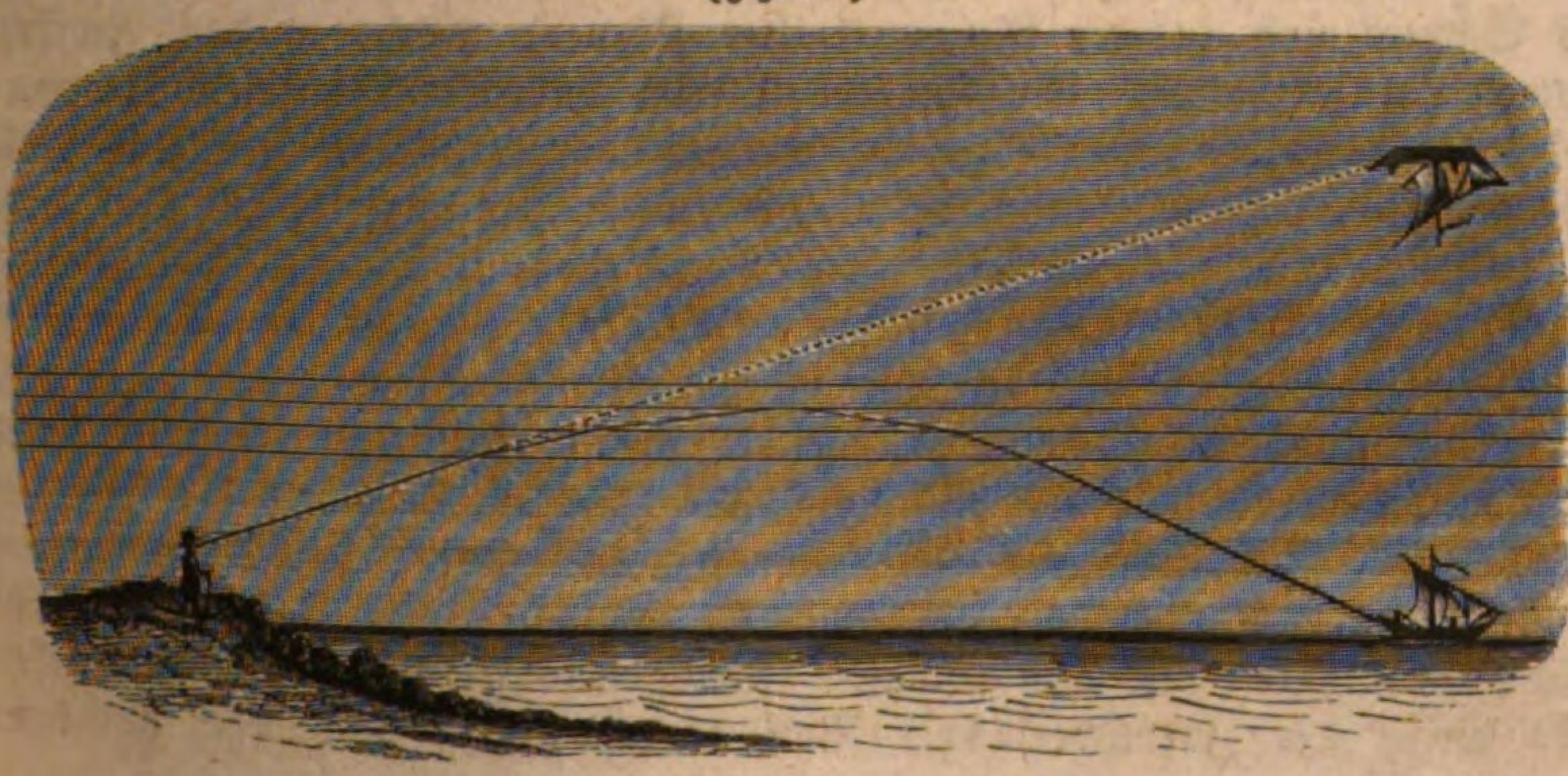
(Fig. 92.)



Während bei der eben beschriebenen Luftspiegelung, wie sie in sandigen Wüsten sich zeigt, ein verkehrtes Bild unter dem Gegenstande erscheint, entstehen durch die Luftspiegelung an der Küste und auf dem Meere verkehrte Bilder ferner Schiffe oder anderer Gegenstände über denselben. Diese Erscheinung tritt dann ein, wenn das Meereswasser eine bedeutend geringere Temperatur, als die Luft besitzt und daher bis zu beträchtlicher Höhe über dem Meere kältere Luftschichten lagern, auf welche in größerer Höhe wärmere folgen. Das Auge des Beobachters und der sich abspiegelnde Gegenstand müssen sich innerhalb der kälteren Luftschichten befinden. Die wärmeren Schichten über diesen bilden dann nach dem Prinzipe der totalen Reflexion, Fig. 93, gleichsam einen wagerechten Spiegel, in welchem die Bilder der unteren Gegenstände verkehrt und über demselben erscheinen.

Gewöhnlich zeigen sich die durch Luftspiegelung entstehenden Bilder schwankend und mit unbestimmten Umrissen, was eine Folge der Luftströmung

(Fig. 93.)



ist. Zuweilen erscheinen dieselben jedoch auch vollkommen deutlich. So beobachtete Scoresby bei einer Reise auf den Wallfischfang im nördlichen Eismeere, wo sich die Erscheinung besonders häufig und prachtvoll zeigt, das verkehrte Bild eines Schiffes in der Luft mit solcher Deutlichkeit, daß er es als das Schiff seines Vaters erkannte, während dieses Schiff selbst, da es sich noch unter dem Horizonte befand, nicht sichtbar war. — Man beobachtet auf der See auch zuweilen zwei Luftbilder eines Schiffes dicht über einander, ein aufrechtes und ein verkehrtes. Während nehmlich das Schiff selbst, wie wir so eben gesehen haben, ein verkehrtes Luftbild giebt, muß das umgekehrte Spiegelbild desselben im Wasser, wenn es sich ebenfalls in der Luft abbildet, offenbar ein aufrechtes Bild erzeugen.

Grund der Unburchsichtigkeit.

Das Prinzip der totalen Reflexion hat uns soeben Aufschluß gegeben über die höchst interessanten, aber verhältnißmäßig seltenen, nur in gewissen Gegenden und unter bestimmten Bedingungen zu beobachtenden Erscheinungen der Luftspiegelung. Es beruhen jedoch auf diesem Prinzipe auch noch ganz allgemein bekannte, alltägliche Erscheinungen.

Wenn wir Glas fein zerstoßen, so erscheint das Pulver fast unburchsichtig; es wird aber wieder durchsichtig, wenn wir dasselbe mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl, welches mit dem Wasser fast gleiches Brechungsvermögen besitzt, übergießen.

Wir haben oben gesehen, daß Luftbläschen, welche sich innerhalb dichterer durchsichtiger Substanzen befinden, wegen der totalen Reflexion, welche schief auf die Oberfläche derselben fallende Lichtstrahlen erleiden, fast undurchsichtig erscheinen. In den Zwischenräumen des pulverisirten Glases sind unzählige Luftblasen, von denen jede nur die nahe am Einfallslothe einfallenden Strahlen durchläßt, die schiefer geneigten aber zurückwirft. Indem nun das in das Glaspulver eindringende Licht durch mehrere solche Luftbläschen hindurchzugehen hat und bei jedem Durchgange in der angegebenen Art eine sehr beträchtliche Schwächung erleidet, kann nur ein kleiner Theil der auf das Glaspulver auffallenden Lichtstrahlen durch das Pulver hindurchgelangen; dasselbe erscheint daher fast undurchsichtig. Wenn aber die Zwischenräume mit einer Flüssigkeit angefüllt sind, welche mit dem Glase fast gleiches Brechungsvermögen hat, so geht das Licht mit nur geringem Verluste aus den Glastheilchen in die Flüssigkeit und aus dieser wieder in die Glastheilchen über, und die Masse erscheint jetzt wieder durchsichtig.

Auf gleichen Gründen beruht die Undurchsichtigkeit des Schaumes auf schleimigen Flüssigkeiten, wie Seifenwasser und Bier; die Undurchsichtigkeit des Schnees und anderer fein zertheilter Körper, welche in den Zwischenräumen Luft enthalten. Ein Schneeball wird daher durchscheinend, wenn in die Poren desselben Wasser dringt, welches die Luft austreibt. Das Nehmliche geschieht bekanntlich auch bei Papier, wenn man dasselbe mit Oel tränkt.

Vielleicht beruht überhaupt die Verschiedenheit zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern auf der verschiedenen Beschaffenheit der zwischen den kleinsten Theilen derselben vorhandenen Zwischenräume.

Die optischen Erscheinungen, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, betrafen die geradlinige Fortpflanzung, die Zurückwerfung und die Brechung des Lichtes. Zu Folge der Vibrationshypothese hat das Licht, sowohl in Hinsicht seiner Entstehung, als auch in Hinsicht seiner Fortpflanzung die größte Aehnlichkeit mit dem Schalle. Beide befolgen daher auch das nehmliche Gesetz der Zurückwerfung. Von der Brechung ist dagegen nur beim

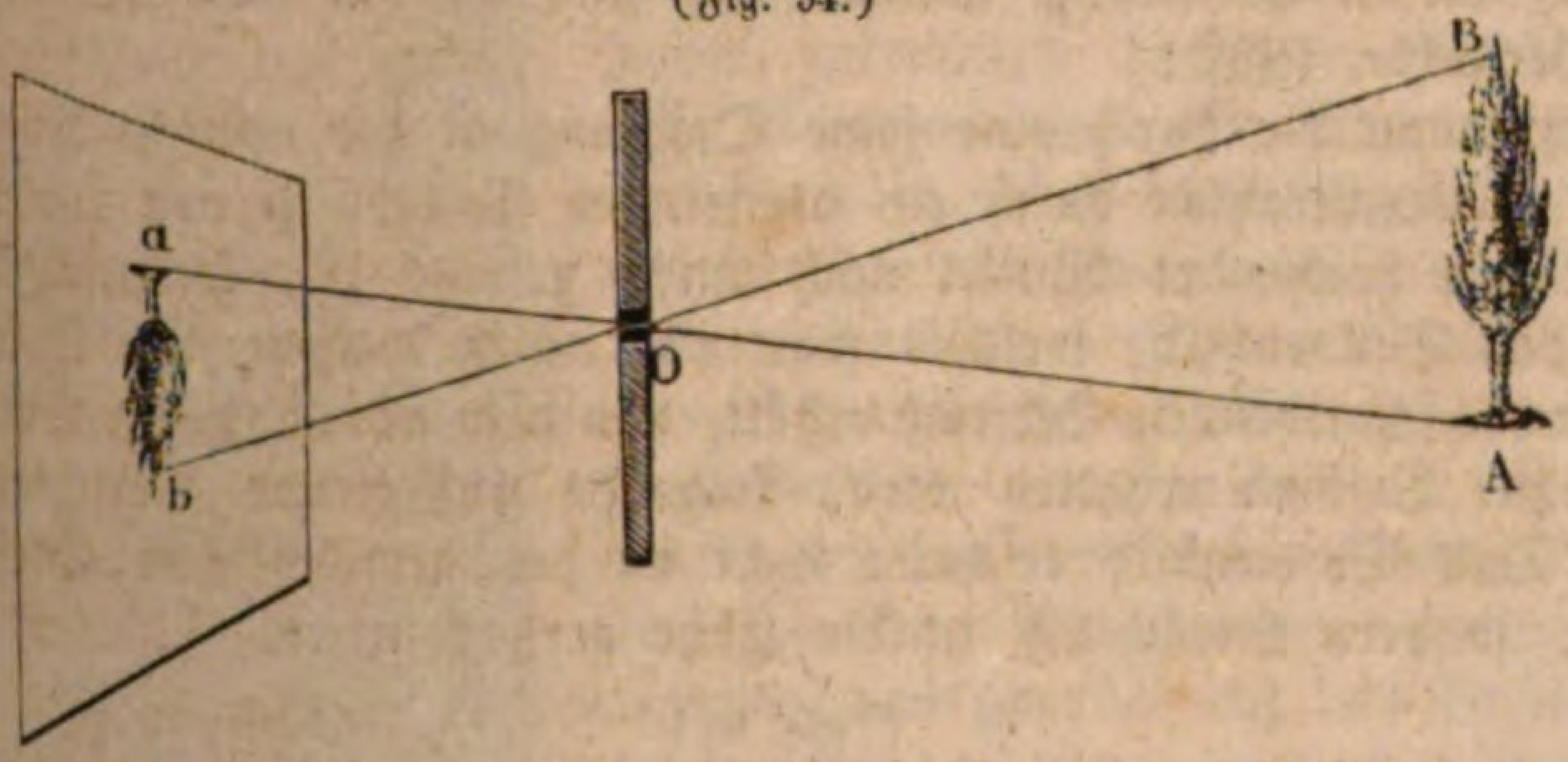
Lichte, aber gar nicht beim Schalle die Rede gewesen. Der Grund dieser Verschiedenheit ist einfach folgender: Der Schall pflanzt sich zwar in der geraden Linie am stärksten, aber nicht ausschließlich in dieser fort; durch das Zwischentreten eines Körpers zwischen unser Ohr und den schallenden Körper wird die Wahrnehmung des Schalles etwas, oft nur unmerklich, geschwächt, keineswegs aufgehoben. Vermögen wir daher überhaupt nicht die geradlinige Fortpflanzung des Schalles auf dem Wege des Versuches nachzuweisen, so sind wir eben so wenig im Stande, eine Ablenkung von der geraden Linie, eine Brechung des Schalles, wahrnehmbar zu machen.

Einen Hauptgegenstand unserer Betrachtungen über den Schall bildete die Verschiedenheit der Töne; den verschiedenen Tönen in der Musik entsprechen, wie wir schon oben kurz erwähnt haben, die verschiedenen Farben des Lichtes. Die optischen Gesetze, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, betreffend die Fortpflanzung, die Zurückwerfung und die Brechung des Lichtes, gelten für alle Arten des Lichtes ohne Unterschied, eben so wohl für weißes, als farbiges, für rothes, grünes, blaues u. s. w. Wir wenden uns nun zu der Untersuchung, worauf die Verschiedenheit des farbigen Lichtes beruht, worin die verschiedenen Farben sich physikalisch von einander unterscheiden.

Die gründliche Beantwortung dieser Frage verdanken wir den scharfsinnigen Untersuchungen, welche Newton ums Jahr 1666 angestellt hat. Ehe wir jedoch dieselben unseren Lesern näher beschreiben, haben wir sie noch vorher mit einer für optische Versuche mehrfach nützlichen Vorrichtung, mit der sogenannten optischen Kammer, bekannt zu machen. Diese besteht aus einem sorgfältig verfinsterten Zimmer, in welches nur durch eine feine Oeffnung, welche in einem übrigens dicht schließenden Laden angebracht ist, Licht eintreten kann. Befindet sich der Oeffnung O gegenüber ein leuchtender Gegenstand AB, Fig. 94, so treffen die vom Punkte A ausgehenden und

Optische Kammer.

(Fig. 94.)



durch die Oeffnung in die optische Kammer gelangenden Strahlen eine in dieser befindliche weiße Wand in a, die von B ausgehenden Strahlen aber in b. Indem nun eben so die Strahlen der leuchtenden Punkte zwischen A und B die weiße Wand zwischen a und b treffen, entsteht auf derselben ein verkehrtes Bild ab des leuchtenden Gegenstandes AB. Dasselbe gilt natürlich für alle anderen der Oeffnung im Laden gegenüber befindlichen Gegenstände. Diese sämmtlich, Häuser, Bäume, überhaupt die ganze Gegend, welche von dem Fenster aus, an welchem der Laden angebracht ist, überblickt werden kann, bildet sich in umgekehrter Lage auf der weißen Wand in der optischen Kammer ab.

Die hier entstehenden Bilder haben jedoch nur eine geringe Helligkeit. Um für die Wahrnehmung des schwachen Lichtes derselben die Empfindlichkeit

des Auges zu erhöhen, muß alles andere Licht von der optischen Kammer sorgfältig abgehalten werden. — Die Helligkeit der Bilder in der optischen Kammer ist um so schwächer, je kleiner die in dem Laden angebrachte Oeffnung ist. Mit der Vergrößerung der Oeffnung wächst zwar die Helligkeit der Bilder, aber es vermindert sich dagegen die Deutlichkeit derselben; die Umrisse zeigen sich weniger scharf begrenzt, gleichsam verwaschen, indem die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen nicht blos wieder einen Punkt auf der weißen Wand treffen, sondern sich über eine kleine Fläche ausbreiten, und zwar über eine um so größere Fläche, je größer die Oeffnung im Laden ist.

Wird die Außenseite des Ladens, in welcher sich die Oeffnung befindet, von der Sonne beschienen, so erhält man auf einem weißen Schirme, welchen man in der optischen Kammer der Oeffnung gegenüber aufgestellt, ein rundliches Bild der Sonne. Man sieht dergleichen Bilder auch häufig auf dem Fußboden entstehen, wenn in einem von der Sonne beschienenen Zimmer die Laden geschlossen sind, und sich in diesen zufällig kleine Oeffnungen befinden. Auch unter schattigen Bäumen zeigen sich häufig dergleichen Sonnenbilder, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht werden, die durch die zwischen den Blättern zufällig vorhandenen Lücken hindurchgehen.

Diese Bilder haben, wie aus der obigen Darstellung hervorgeht, allemal, die Oeffnung mag nun rund, dreieckig sein oder was immer für eine Gestalt haben, eine dem abgebildeten Gegenstande ähnliche Gestalt. Die Sonnenbilder fallen daher unter allen Umständen rundlich aus; sie können jedoch nur dann eine vollkommen kreisförmige Gestalt haben, wenn der in die optische Kammer durch die enge Oeffnung eintretende Strahlenkegel von dem auffangenden Schirme senkrecht durchschnitten wird; sie gestalten sich dagegen länglich-rund, elliptisch, wenn der Schirm gegen die Axe des einfallenden Strahlenkegels eine schiefe Lage hat.

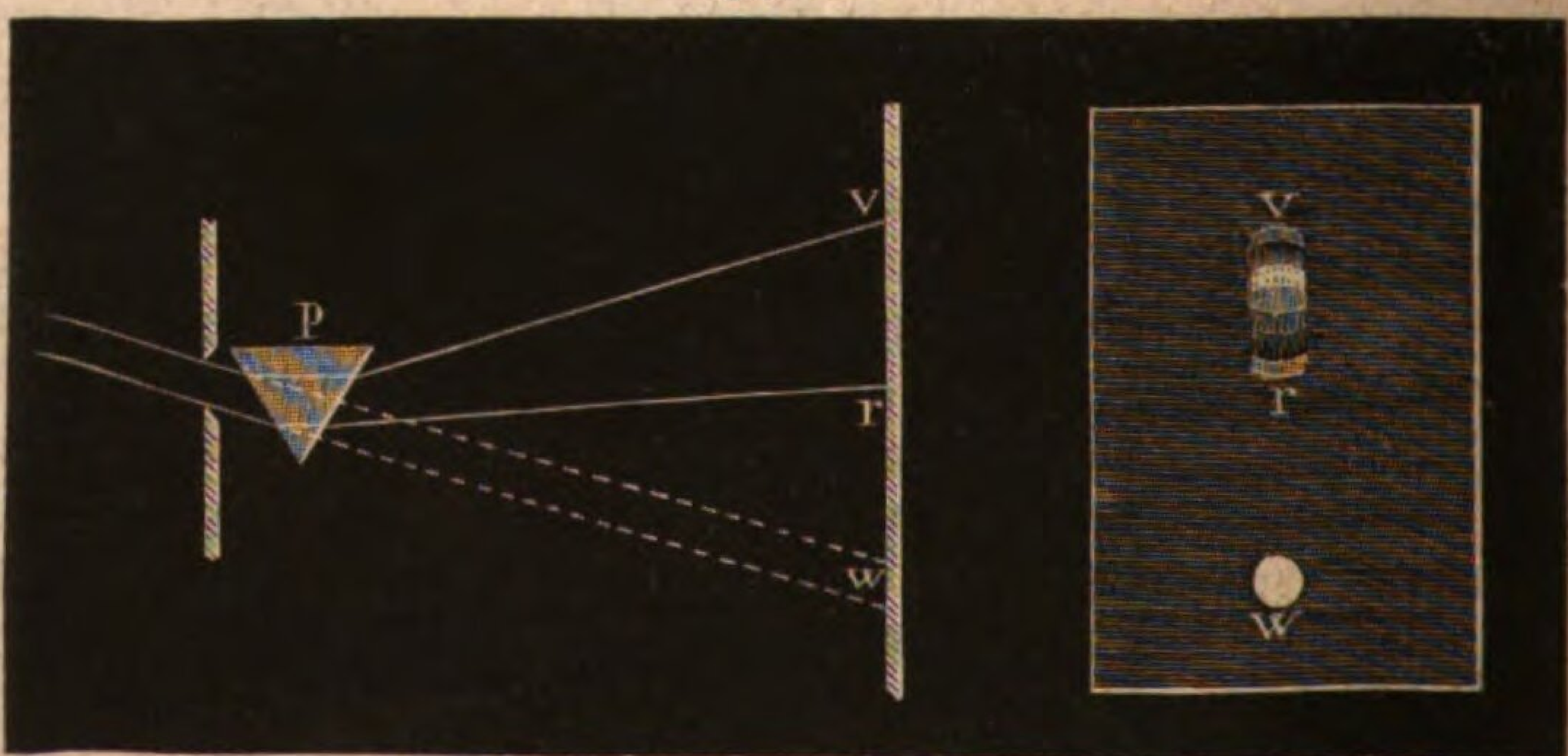
Farbiges Licht.

Nach dieser Einleitung wenden wir uns zu den von Newton angestellten Versuchen selbst:

Wenn man die durch eine feine Oeffnung in die optische Kammer eintretenden Sonnenstrahlen durch ein dreiseitiges Prisma p von klarem reinem Glase, dessen brechender Winkel nach unten gekehrt ist, hindurchgehen läßt, so zeigt das Sonnenbild, welches man auf einem weißen, den Strahlenkegel senkrecht durchschneidenden Schirme erhält, von dem gewöhnlichen Sonnenbilde, wie es ohne Prisma erhalten wird, folgende auffallende Verschiedenheiten:

1) Das Sonnenbild erscheint nicht an der gewöhnlichen Stelle in w, Fig. 95, sondern beträchtlich in die Höhe gerückt in vr.

(Fig. 95.)



2) Dasselbe ist nicht kreisförmig, sondern länglich, oben und unten von zwei Bogen, an den Seiten von geraden Linien begrenzt.

3) Es ist nicht weiß, sondern aufs lebhafteste und prachtvollste gefärbt, und zwar unterscheidet man an demselben ganz die nehmlichen Farben wie an dem Regenbogen, nehmlich von unten nach oben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett.

(Fig. 96.)



Die nach größerem Maaßstabe ausgeführte Fig. 96 wird hiervon eine ohngefähre Vorstellung geben.

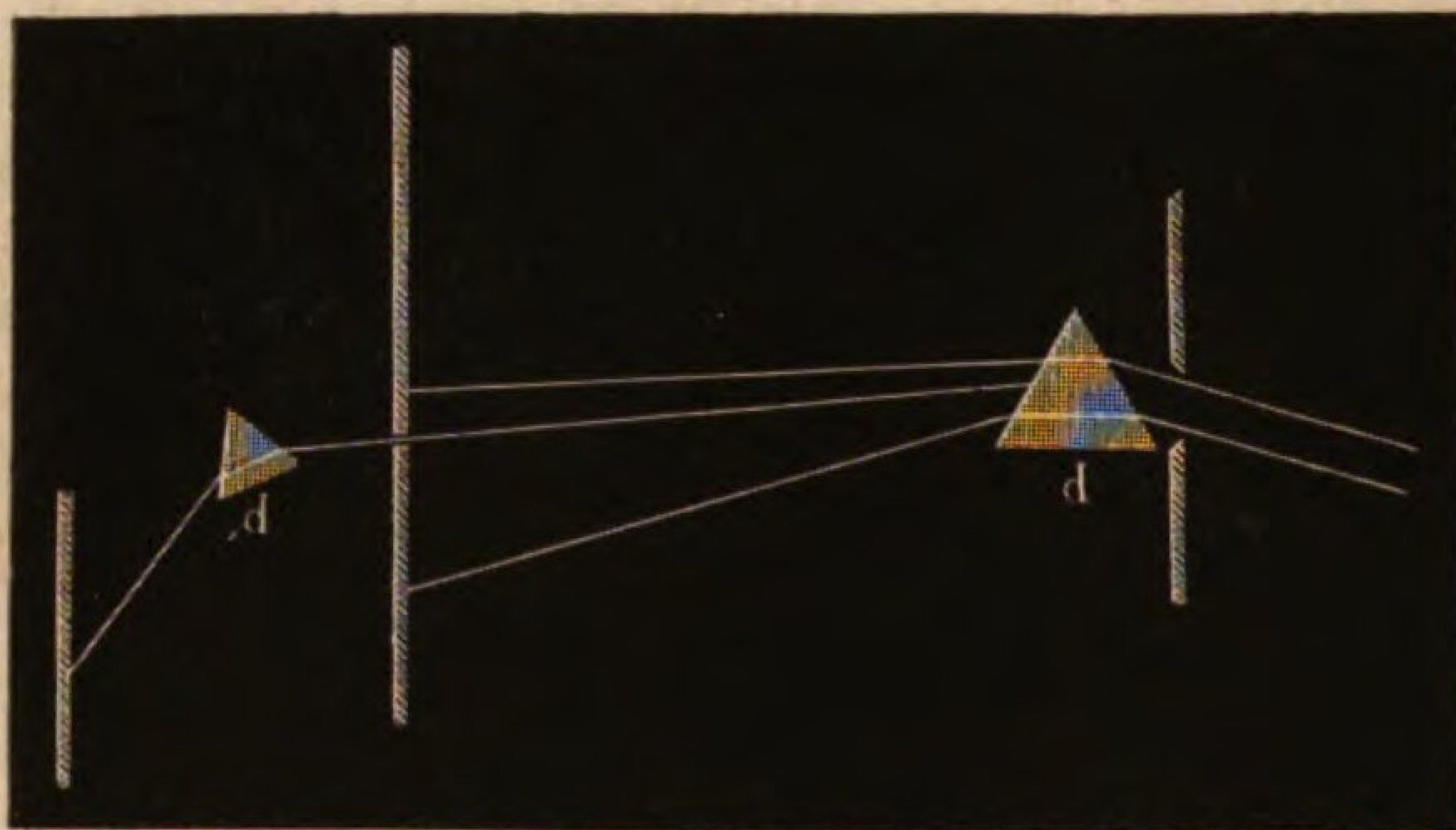
Die Farben sind nicht scharf gegen einander abgegrenzt, sondern gehen allmählich durch Zwischenfarben in einander über, so daß die Zahl der überhaupt in dem Farbenbilde, Spectrum, zu unterscheidenden Farben sich nicht wohl feststellen läßt, jedenfalls aber die der oben angegebenen sieben Hauptfarben, welche Newton nach Analogie der sieben Töne in der Musik hervorhob, weit übersteigt.

Aus diesen Versuchen schließen wir mit Newton: das weiße Licht ist nicht einfach, sondern aus zahlreichen farbigen Strahlen zusammengesetzt, welche vereinigt den Eindruck des Weißen hervorbringen. — Zur Bestätigung dieser letzteren Behauptung kann auch noch folgender Versuch dienen: Wenn man die durch das Prisma hindurch gegangenen und von einander getrennten farbigen Strahlen durch eine Sammellinse, ein Brennglas, wieder vereinigt, so geben dieselben wieder Weiß.

Die verschiedenfarbigen Strahlen unterscheiden sich von einander durch ihre verschiedene Brechbarkeit, und zwar sind die violetten die am stärksten, die rothen die am schwächsten brechbaren Strahlen. Indem diese Strahlen im weißen Lichte vereinigt und parallel auf das Prisma fallen, werden sie sämmtlich gebrochen; indem aber die stärker brechbaren (violetten) Strahlen mehr, die schwächer brechbaren (rothen) Strahlen weniger von der geraden Linie durch die Brechung im Prisma abgelenkt werden, können sie nicht mehr nach derselben parallelen Richtung, sondern sie müssen nach verschiedenen divergirenden Richtungen aus dem Prisma austreten.

Wenn man in dem Schirme, welcher die verschiedenfarbigen Strahlen auffängt, nachdem sie durch das Prisma p, Fig. 97, hindurchgegangen und gebrochen worden sind, eine feine Oeffnung anbringt, welche nur eine Strahlengattung, z. B. rothes oder violettes Licht durchläßt, und die hindurchgegangenen einfarbigen Strahlen auf ein zweites Prisma p′ fallen läßt, so werden diese Strahlen aufs Neue gebrochen, behalten aber ihre

(Fig. 97.)



Farbe unverändert bei. Die violetten oder die diesen benachbarten Strahlen, welche wir bereits als stärker brechbar kennen gelernt haben, erfahren auch durch das zweite Prisma eine größere Ablenkung, als die rothen oder die diesen näher liegenden Strahlen.

Weiter unten werden wir sehen, daß die violetten Strahlen diejenigen sind, welchen die größte, die rothen diejenigen, welchen die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit zukommt. Indem dieselben aus einem schwächer in ein stärker brechendes Medium, aus Luft in Glas oder Wasser, übergehen, vermindert sich ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem Verhältniß, welches der Brechungsexponent anzeigt, und zugleich erleiden sie eine demselben entsprechende Ablenkung von der geraden Linie. Diese Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist nun beträchtlicher bei den rascher schwingenden violetten, als bei den langsamer schwingenden rothen Strahlen; demgemäß werden auch die ersteren mehr, die letzteren weniger von der geraden Linie abgelenkt oder gebrochen.

Fassen wir die gewonnenen Resultate kurz zusammen: — So wie die hohen und niedrigen Töne sich durch die ungleiche Größe ihrer Schwingungszahlen unterscheiden, so kommen auch den verschiedenfarbigen Strahlen verschiedene Schwingungszahlen zu. Die Schwingungszahl ist am größten bei den violetten, am kleinsten bei den rothen Strahlen; sie beträgt für jene ohngefähr 660, für diese 450 Billionen in der Secunde. Wenn diese ungeheuren Zahlen unsere Leser fürs Erste in Erstaunen setzen sollten, so bemerken wir, daß wir dieselben später mit voller Deutlichkeit rechtfertigen werden. Auch ist die absolute Größe dieser Zahlen für die jetzige Betrachtung unwesentlich; wir haben dieselben nur um größerer Bestimmtheit willen vorläufig hier angeführt. — Wir fahren nach dieser Einschaltung weiter fort:

Zwischen den Schwingungszahlen der violetten und rothen Strahlen, als den äußersten Grenzen, liegen die der übrigen Farben. Gelangen aber diese verschiedenfarbigen Strahlen zugleich und im richtigen Verhältnisse ins Auge, so entsteht die Empfindung des Weißen, da, wie wir ja oben gesehen haben, alle verschiedenfarbigen Strahlen des Spectrums vereinigt, wieder Weiß geben.

An diesen schon oben angeführten Versuch reiht sich die nahe liegende Frage, was hervorgeht, wenn nicht alle, sondern nur einige farbige Strahlen des Spectrums vereinigt, andere von der Vereinigung ausgeschlossen werden. Man erhält dann in der Regel nicht Weiß, sondern irgend eine bestimmte Farbe. Vereinigt man z. B. alle Strahlen mit Ausnahme der rothen, so bekommt man Grün, und umgekehrt wird Roth erhalten, wenn man von der Vereinigung die grünen Strahlen ausschließt. Man nennt Farben, welche sich wie Grün und Roth in dem angeführten Beispiele verhalten, *complementäre* Farben. Dergleichen sind ferner Orange und Blau, Gelb und Violett.

Es geht aber aus diesen Versuchen die wichtige Folgerung hervor, daß die Empfindung einer bestimmten Farbe auf zweierlei Weise, sowohl durch eine einzige bestimmte Strahlengattung, als auch durch das Zusammenwirken mehrerer Strahlengattungen hervorgebracht werden kann.

Wenden wir nun weiter das Vorhergehende auf die Farben an, in denen sich uns die uns umgebenden Körper zeigen. Die wenigsten sehen wir durch das eigene Licht derselben; die meisten nehmen wir durch reflectirtes Licht wahr, welches von leuchtenden Körpern, am gewöhnlichsten von der Sonne, mittelbar oder unmittelbar auf dieselben gelangt und von ihnen zurückgeworfen wird. Da das Sonnenlicht weiß ist, in demselben alle möglichen farbigen Strahlen enthalten sind, so ist sofort einleuchtend, daß ein Körper weiß erscheinen wird, wenn er alle auffallenden, im weißen Sonnenlichte enthaltenen farbigen Strahlen in gleichem Verhältniß zurückwirft.

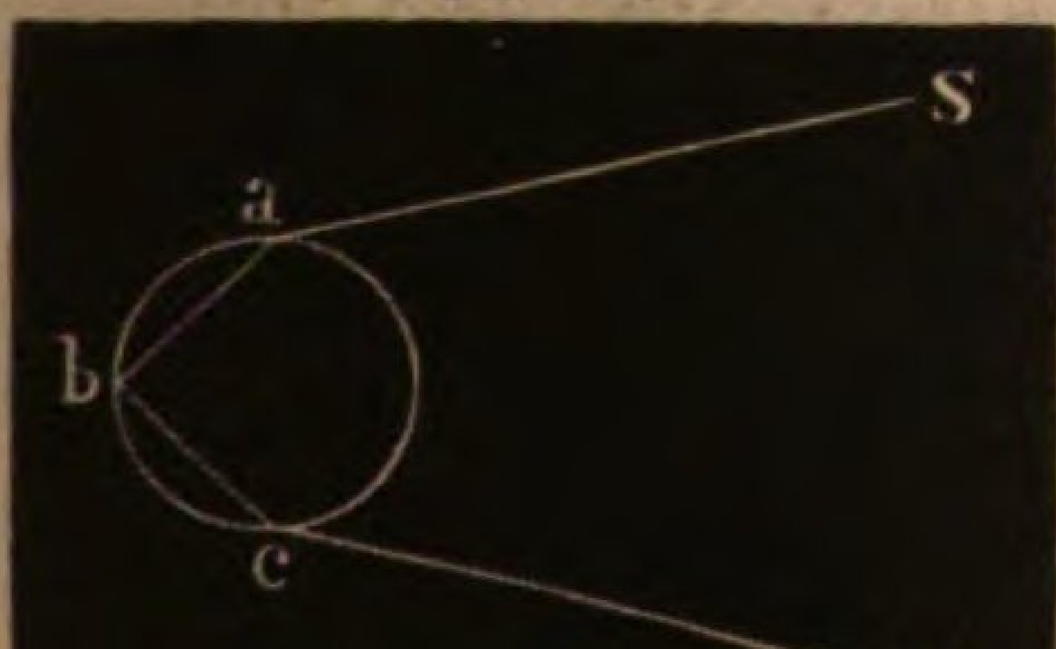
Daß ein Körper sich uns mit einer bestimmten Farbe, z. B. roth, zeigt, kann auf zweierlei Weise geschehen, entweder indem derselbe von den verschiedenfarbigen Strahlen des auffallenden weißen Tageslichtes nur die rothen reflectirt und alle anderen gänzlich absorbirt, oder indem er die rothen überwiegend reflectirt, die übrigen aber, besonders die complementären grünen, in stärkerem Verhältniß absorbirt. Nur der letztere Fall kommt in der Natur wirklich vor; die Farben, mit denen sich uns die Körper zeigen, sind niemals einfache, sondern immer mehr oder weniger zusammengesetzte, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die farbigen Körper durch ein Prisma betrachtet; eine einfache Farbe durch dieses betrachtet, würde unverändert bleiben; eine zusammengesetzte dagegen wird in die verschiedenen Farben, aus denen sie besteht, zerlegt.

Wir nennen einen Körper schwarz, wenn derselbe von dem auffallenden Lichte nur sehr wenig reflectirt; vollkommen schwarz würde ein Körper sein, der gar kein Licht reflectirte. Ein solcher kommt ebenfalls in der Natur nicht vor.

Der Regenbogen.

Das eben Gesagte betraf die Farben, mit denen die Körper sich uns dauernd zeigen. Die Natur bietet uns aber auch mannigfaltige vorübergehende Farbenerscheinungen dar; unter diesen ist ohnstreitig der Regenbogen die prachtvollste. Wir haben die Farben desselben oben mit denen des prismatischen Farbenbildes verglichen, und in der That ist zwischen denselben eine Uebereinstimmung, welche auf einen gleichen Ursprung, also darauf hinweist, daß die Sonnenstrahlen in den Regentropfen in ähnlicher Art, wie im Prisma, eine Brechung erleiden. Weil aber der Regenbogen sich allemal der Sonne gegenüber zeigt, so können die Strahlen der Sonne nicht bloß eine Brechung, sondern sie müssen, um von dem Regentropfen in unser Auge zu gelangen, auch eine Zurückwerfung erfahren haben. Aus dieser Ueberlegung ergiebt sich für dieselben folgender Gang:

(Fig. 98.)



Ein von der Sonne kommender Strahl sa, Fig. 98, trifft den in vergrößertem Maße abgebildeten Regentropfen in a, wird hier zum Einfallslothe in der Richtung ab gebrochen, an der Rückseite des Tropfens bei b nach innen in der Richtung bc reflectirt und bei c nochmals, aber vom Einfallslothe in der Richtung co gebrochen. Befindet sich daher in o

ein Auge, so hat der in dasselbe gelangende Strahl co in dem Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine einmalige Zurückwerfung erfahren.

Indem aber die das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden und in paralleler Richtung auf den Regentropfen auffallenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, treten dieselben nach der Brechung, welche sie bei ihrem Durchgange durch den Regentropfen erfahren haben, nicht nach parallelen, sondern nach verschiedenen Richtungen aus demselben aus; die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen verlassen den Regentropfen nach divergirenden Richtungen. Auf diese Art geschieht es, daß von dem nehmlichen Regentropfen nicht alle Strahlengattungen in gleichem Verhältnisse, sondern von gewissen Tropfen, vorzugsweise rothe, von anderen überwiegend gelbe Strahlen u. s. w. in das Auge des Beobachters gelangen.

Das Vorstehende wird vielleicht hinreichen, unseren Lesern die Möglichkeit der Entstehung der Farbenerscheinung des Regenbogens zu zeigen; eine ganz gründliche Theorie würde die Kenntniß der höheren Mathematik erfordern. Daß aber die Regentropfen r, Fig. 99, welche eine gleiche Strahlengattung

(Fig. 99.)



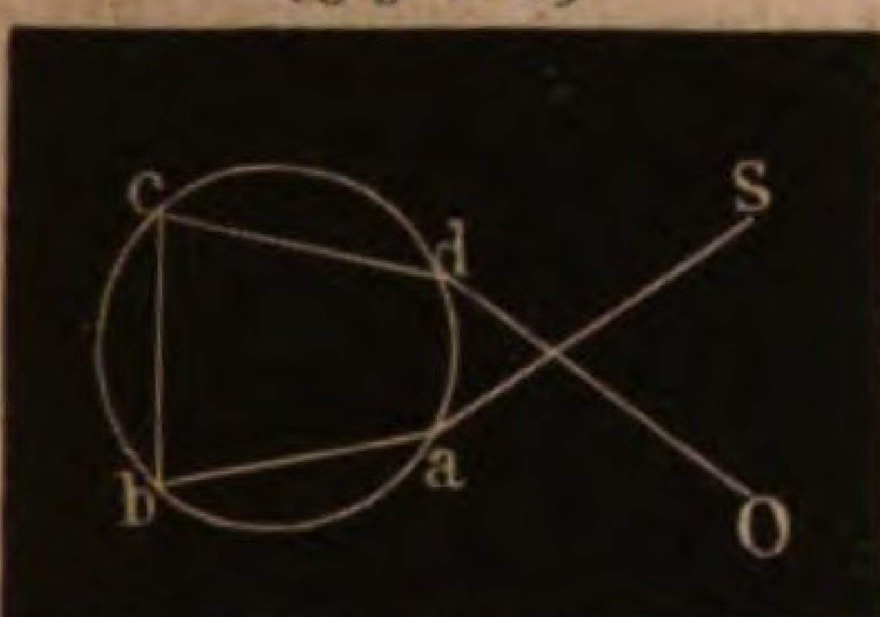
ins Auge o senden, auf einem Kreisbogen liegen müssen, welcher seinen Mittelpunkt m in der Verlängerung einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gezogenen Linie hat, geht leicht daraus hervor, daß diese Tropfen eine ganz gleiche Lage gegen das Auge o und die Sonne s haben, also genau den nehmlichen Bedingungen unterworfen sind, so daß in Beziehung auf den Eintritt und Austritt der Sonnenstrahlen, in Beziehung auf Brechung und Farbenzerstreuung von dem einen genau dasselbe wie von dem anderen gelten muß.

Da der Mittelpunkt des Regenbogens allemal in der Verlängerung einer Linie liegt, welche wir uns von der Sonne durch das Auge des Beobachters gezogen denken, so muß derselbe um so tiefer unter den Horizont zu liegen kommen, je höher die Sonne am Himmel steht; einen um so kleineren Theil eines ganzen Kreises muß daher auch der über den Horizont

fallende Regenbogen bilden. Derselbe wird ganz unter den Horizont fallen, oder mit anderen Worten, er kommt gar nicht zu Stande, wenn die Höhe der Sonne eine gewisse Grenze (42°) übersteigt. In den Sommermonaten, in denen die Sonne ihre größte Höhe erreicht, kann sich daher ein Regenbogen nur in den früheren Morgen- und in den späteren Nachmittagsstunden zeigen. Der Regenbogen wird am größten, nehmlich ein Halbkreis, wenn die Sonne am Horizonte steht, also entweder beim Auf- oder beim Untergange der Sonne.

Zuweilen bemerkt man über dem Hauptregenbogen noch einen schwächeren, **Nebenregenbogen**, mit umgekehrter Anordnung der Farben. Derselbe hat eine ähnliche Entstehung wie der Hauptregenbogen; die den Nebenregenbogen erzeugenden Strahlen haben jedoch den in Fig. 98 abgebildeten Gang. sa zeigt die Richtung des einfallenden Sonnenstrahles, do die Richtung des ins Auge gelangenden austretenden Strahles, abcd aber den Weg des Lichtstrahles im Regentropfen an.

(Fig. 100.)



Die blaue Farbe des Himmels.

Andere optische Erscheinungen in der Atmosphäre, welche wir hier anreihen, sind die **Morgen- und Abendröthe** und die **blaue Farbe des Himmels**. Daß der wolkenlose Himmel uns blau erscheint, läßt uns schließen, daß die Lufttheilchen nicht alle Strahlen, welche das weiße Sonnenlicht zusammensetzen, in gleichem, sondern die blauen Strahlen in stärkerem Verhältnisse, als die übrigen reflectiren. Der Himmel erscheint um so tiefer blau, je freier die Luft von Staubtheilchen und Dunstbläschen ist; sind diese in der Luft in größerer Menge vorhanden, so geben sie dem Himmel ein graues Ansehen. Der Himmel zeigt daher ein besonders schönes Blau nach einem Regen, welcher die in der Luft schwebenden Staubtheilchen oder Dunstbläschen niederschlägt.

Morgen- und Abendröthe.

Die **Morgen- und Abendröthe** aber, so wie die Erscheinung, daß die Sonne und der Mond beim Auf- und Untergange, wo die Strahlen dieser Gestirne einen weit größeren Weg in der Atmosphäre zurücklegen, als wenn dieselben am hohen Himmel stehen, zeigen uns, daß die Luft besonders dann, wenn in Folge der nächtlichen Abkühlung sich der Thau bildet, und die unteren Luftschichten mit feinen Dunstbläschen erfüllt sind, die rothen Strahlen in reichlicherem Maße, als die übrigen hindurchläßt.

Die bisher besprochenen Farbenerscheinungen beruhten vorzugsweise auf der ungleichen Brechbarkeit der das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen. Die Farbenerscheinungen dagegen, welche wir nun weiter erörtern wollen, gehen dadurch hervor, daß beim Zusammentreffen zweier weißes Licht bildenden Wellensysteme, d. h. zweier Wellensysteme, in denen sämmtliche den verschiedenen Farben entsprechende Lichtwellen enthalten sind, nach dem Principe der Interferenz die Wellen einiger Farben sich schwächen, andere dagegen sich verstärken und so in einem Auge, welches sie treffen, den Eindruck einer bestimmten Farbe hervorrufen. Indem diese Erscheinungen nur in der Vibrationshypothese ihre Erklärung finden, haben sie ganz besonders Veranlassung zur Ausbildung und Verbreitung dieser Hypothese gegeben.

Farben dünner Blättchen.

Wir führen in dieser Hinsicht zuerst die schönen Farben der Seifenblasen an, welche wegen des bunten Farbenspieles den Kindern eine beliebte Unterhaltung gewähren. Unseren Lesern ist ohne Zweifel bekannt, daß die

Farben der Seifenblasen fortwährend wechseln, wenn bei fortgesetztem Blasen der Durchmesser der Blase größer, also das dieselbe einhüllende Wasserhäutchen dünner wird. Daß dieser letzte Umstand die Ursache des Farbenwechsels ist, bestätigt auch der folgende Versuch:

Wenn man auf die Oberfläche des Wassers in einem Glase, welches man einem Fenster gegenüber aufgestellt hat, so daß sich in dem Wasser die Wolken und der Himmel abspiegeln, einen Tropfen Terpentinöl fallen läßt, so breitet sich derselbe über die Oberfläche des Wassers in einer dünnen Schicht aus, welche ähnliche Farbenerscheinungen zeigt, wie die Seifenblasen. Indem nehmlich das Terpentinöl rasch verdunstet, vermindert sich die Dicke der dünnen über das Wasser ausgebreiteten Schicht fortwährend und zugleich findet ein beständiger Farbenwechsel statt.

Aehnliche Farbenerscheinungen zeigen sich überhaupt, wenn irgend eine durchsichtige Substanz in einer sehr dünnen Schicht vorhanden ist.

Die angeführten Versuche lassen jedoch keine gründliche Untersuchung zu, da es nicht möglich ist, die Dicke des Häutchens Seifenwasser oder Terpentinöl zu messen. Um zu diesem Ziele zu gelangen, eignet sich vorzüglich das folgende von Newton angewendete Verfahren, die Erscheinungen hervorzurufen.

Wenn man eine convexe Linse (ein Brennglas) von sehr schwacher Krümmung auf eine möglichst ebene Glasscheibe legt, beide Gläser etwas gegen einander preßt und sich dann so stellt, daß das von denselben reflectirte Tageslicht in das Auge gelangt, so bemerkt man da, wo sich beide Gläser berühren, einen dunklen Fleck, welcher von mehreren regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist.

Zwischen den beiden Gläsern befindet sich eine dünne Luftschicht, und da die Dicke derselben mit der Entfernung von der Berührungsstelle zunimmt, so zeigt sich nicht bloß eine Farbe, sondern es kommen in Uebereinstimmung mit dem schon oben Angeführten mehrere Farben zum Vorschein.

Newton bediente sich einer Linse, deren Krümmungshalbmesser über 50 Fuß betrug. Die Erscheinung zeigt sich jedoch auch vollkommen deutlich bei Anwendung eines Glases aus einer schwachen Brille, welche für einen Weitsichtigen dient. Die Farbenringe fallen nur dann weniger breit aus. Um dieselben deutlicher zu sehen, kann man sie durch ein Vergrößerungsglas betrachten.

Um die auch bei der angegebenen Beobachtungsmethode noch immer sehr verwickelte Erscheinung noch mehr zu vereinfachen, muß man dieselbe nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen, z. B. im rothen Lichte beobachten, indem man die Ringe durch ein tief roth gefärbtes Glas, welches nur den rothen Strahlen den Durchgang gestattet, betrachtet. Man bemerkt dann in der Mitte ebenfalls einen dunklen Fleck, welcher von abwechselnden, hellen rothen und dunklen Ringen umgeben ist, Fig. 101. Diese Ringe werden, je weiter sie von der Mitte abstehen, um so schmaler und matter, bis sie endlich sich der Wahrnehmung gänzlich entziehen. —

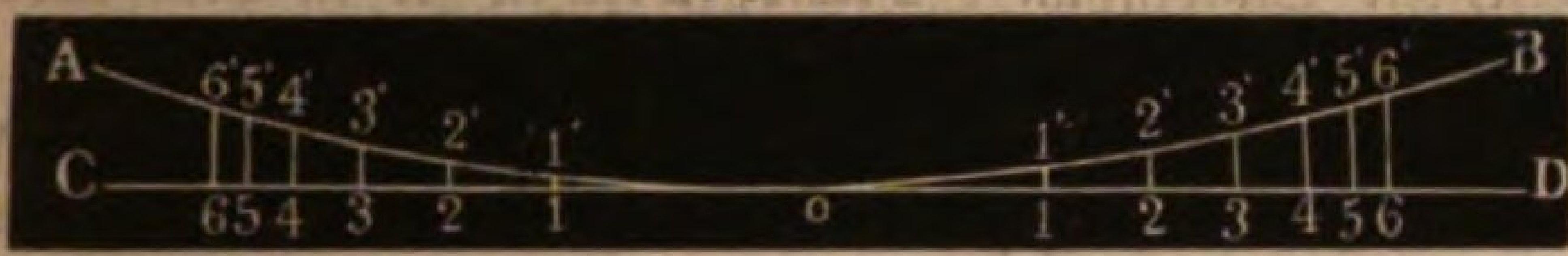
(Fig. 101.)



Aehnliches ist der Fall, wenn man nicht rothes Licht, sondern irgend eine andere Farbengattung anwendet. Eine Verschiedenheit zeigt sich jedoch darin, daß bei verschiedenen Farben die hellen und dunklen Ringe eine ungleiche Breite haben. Sie fallen am breitesten im rothen, am schmalsten dagegen im violetten Lichte aus.

Ist AB, Fig. 102, ein Durchschnitt der gekrümmten, CD der ebenen Glasfläche, und bezeichnen 1, 3, 5 die Mitten der hellen, 2, 4, 6 aber die Mitten der dunklen Ringe, so zeigen die senkrechten Linien 11′, 33′, 55′ die Dicke an, welche die zwischen beiden Gläsern enthaltene Luftschicht an denjenigen Stellen hat, wo die Mitten der hellen Ringe hinfallen, während 22′, 44′, 66′ das Nehmliche für die dunklen Ringe angeben.

(Fig 102.)



Indem nun Newton die Durchmesser der hellen und dunklen Ringe aufs sorgfältigste abmaß und hieraus die eben erwähnten Dicken berechnete, ergaben sich ihm folgende Gesetze:

Die Dicken der beide Gläser trennenden Luftschicht verhalten sich im einfarbigen Lichte für die Mitten der hellen Ringe wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 u. s. w.,

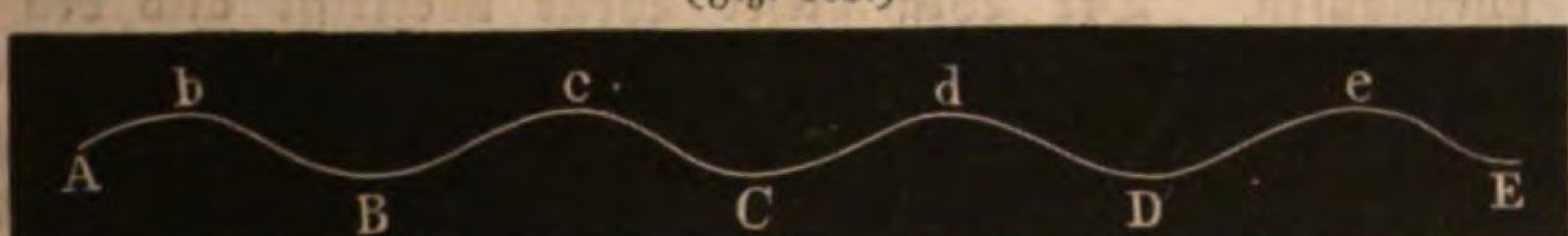
für die Mitten der dunklen Ringe aber wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 u. s. w.

Ehe wir zeigen, wie die beschriebenen Erscheinungen und ins Besondere die zuletzt angeführten merkwürdigen Gesetze ihre einfache Erklärung in der Vibrationshypothese finden, haben wir noch Folgendes hervorzuheben:

An jeder Welle unterscheiden wir bekanntlich zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Theile, welche wir bei den Wellen im Wasser als Wellenberg und Wellenthal bezeichnen.

Wenn eine Welle bei ihrer Ausbreitung in der Richtung A, B, C, D, Fig. 103, fortschreitet und B, C, D von A um 1, 2, 3 ganze, oder was

(Fig. 103.)



dasselbe sagen will, um 2, 4, 6, überhaupt um eine gerade Anzahl halber Wellenlängen entfernt sind, so befindet sich die Welle bei ihrer Ankunft in den Punkten B, C, D genau in demselben Schwingungszustande, wie in A. Wenn aber die Punkte b, c, d von A um 1, 3, 5, überhaupt um eine ungerade Zahl halber Wellenlängen entfernt sind, so hat die Welle, indem sie in diesen Punkten anlangt, den gerade entgegengesetzten Schwingungszustand.

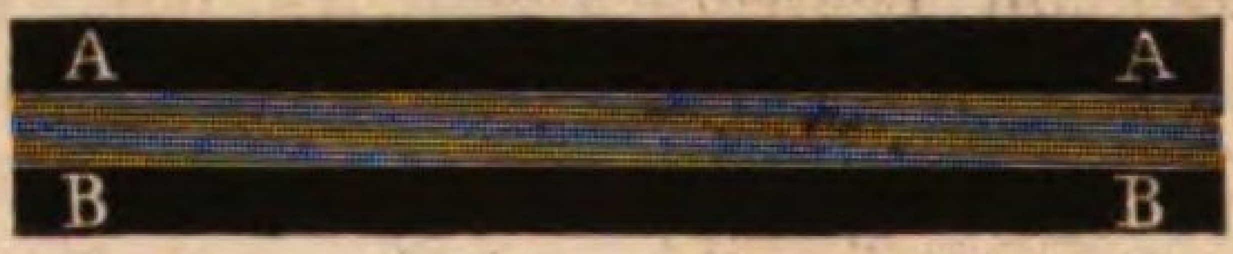
Wenn zwei Wellen in einem Punkte zusammentreffen, so können sich dieselben eben sowohl verstärken, als auch schwächen, je nachdem sie sich in diesem Punkte in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden.

Ferner führen wir noch den folgenden, zuerst von Young aufgestellten Satz an, welcher theils aus theoretischen Gründen folgt, theils, wie wir

gleich weiter sehen werden, durch die oben angeführten Erscheinungen und Gesetze vollkommen bestätigt wird. Wenn eine Lichtwelle aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so wird sie nur zum Theile durchgelassen, zum Theile zurückgeworfen. In Hinsicht des reflectirten Theiles findet jedoch eine Verschiedenheit statt, je nachdem der Uebergang aus einem stärker brechenden Mittel in ein schwächer brechendes, z. B. aus Glas in Luft oder umgekehrt, erfolgt. Die zurückgeworfene Lichtwelle wird in dem ersteren Falle gleichsam um eine halbe Wellenlänge während der Reflexion verzögert und hat daher gerade den entgegengesetzten Schwingungszustand, welchen sie in dem andern Falle besitzt.

Wenden wir nun die angeführten Gesetze auf die Farbenerscheinungen dünner Blättchen an. Es sei AA, Fig. 104, die vordere, BB die hintere Grenzfläche einer durchsichtigen Substanz, z. B. einer zwischen zwei Gläsern befindlichen Luftschicht. Eine von irgend einer Lichtquelle ausgegangene und an der vorderen Fläche AA anlangende Lichtwelle wird hier zum Theil reflectirt; ein anderer Theil dringt in die dünne Schicht ein, setzt seinen Weg bis an die hintere Grenzfläche BB fort, wird an dieser ebenfalls zum Theil durchgelassen, zum Theil reflectirt; der zurückgeworfene Theil kehrt nach der vorderen Grenzfläche AA zurück, und indem er hier abermals eine Spaltung erleidet, wird nur ein Theil desselben durchgelassen.

(Fig. 104.)



Dieser durchgelassene Theil trifft an der Fläche AA mit dem von dieser Fläche reflectirten Theile irgend einer späteren von der nehmlichen Lichtquelle ausgegangenen und bis an die Fläche AA gelangten Welle zusammen. Die beiden hier zusammentreffenden Wellentheile können sich nun zu Folge des Obigen eben sowohl verstärken, als schwächen, je nachdem sie sich im gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszustande befinden. Beide sind von der nehmlichen Lichtquelle ausgegangen, haben also von dieser bis zu der vorderen Fläche AA der dünnen Schicht gleiche Wege durchlaufen, aber außerdem hat die erstere Welle noch die Dicke der dünnen Schicht von der vorderen Fläche AA bis zum hinteren BB und von BB wieder zurück bis AA durchlaufen. Der Weg dieser Welle übertrifft also den der anderen um die doppelte Dicke dieser Schicht. Es müssen sich daher beide reflectirten Wellen, da sie zu Folge des oben angeführten Satzes von Young an den Grenzflächen AA und BB eine verschiedenartige Reflexion erfahren haben, in gerade entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, also sich schwächen, wenn die Differenz ihrer Wege, d. h. die doppelte Dicke der dünnen Schicht, 2, 4, 6 halben Wellenlängen, also die einfache Dicke 2, 4, 6 Viertel Wellenlängen, überhaupt einer geraden Zahl von Viertel Wellenlängen gleich ist. Dagegen müssen sich offenbar die von der vorderen und hinteren Fläche reflectirten Wellen verstärken, wenn die doppelte Dicke der dünnen Schicht einer ungeraden Zahl halber Wellenlängen, also die einfache Dicke einer ungeraden Zahl von Viertel Wellenlängen gleich ist.

Fig. 105 bis 108 sollen den Gang der Lichtwellen veranschaulichen, wenn eine dünne, stärker brechende Schicht sich zwischen zwei schwächer brechenden befindet, wie dieß z. B. bei dem Wasserhäutchen der Seifenblasen der Fall ist, welches zu beiden Seiten von Luft umgeben ist, und wenn die

(Fig. 105.)



(Fig. 106.)



(Fig. 107.)



(Fig. 108.)



(Fig. 109.)



(Fig. 110.)



(Fig. 111.)



(Fig. 112.)



Dicke der dünnen Schicht (in der Richtung des einfallenden Lichtes) entweder gleich 1 oder 2 oder 3 oder 4 Viertel Wellenlängen ist.

Fig. 109 bis 112 stellen das Nehmliche für den Fall dar, daß eine dünne, schwächer brechende Substanz von zwei stärker brechenden umgeben ist, wie z. B. bei den Newton'schen Farbenringen, bei denen sich eine Luftschicht zwischen zwei Gläsern befindet.

In den Fig. 105, 107, 109 und 111 befinden sich die von der vorderen und hinteren Fläche reflectirten Lichtwellen bei ihrem Zusammentreffen in gleichen Schwingungszuständen und verstärken sich folglich; in den Fig. 106, 108, 110 und 112 befinden sich dieselben in gerade entgegengesetzten Schwingungszuständen u. müssen sich folglich schwächen.

An denjenigen Stellen, an welchen die Dicke der dünnen Schicht genau einer geraden oder einer ungeraden Zahl von Viertel Wellenlängen des auffallenden Lichtes gleich ist, findet die größte Schwächung oder Verstärkung, an den zwischenliegenden aber ein allmählicher Uebergang von dem Einen zu dem Anderen statt.

Indem so die Farbenerscheinungen der dünnen Blättchen, ins Besondere die oben angeführten und von Newton durch seine sorgfältigen Messungen

und Rechnungen aufgefundenen Gesetze, ihre einfache Erklärung in der Vibrationshypothese finden, haben dieselben zugleich wesentlich beigetragen, die Richtigkeit dieser Hypothese zu bestätigen.

Zu Folge der vorstehenden Erörterung sind die von Newton berechneten, in der Fig. 113 aber in vergrößertem Maaßstabe dargestellten senkrechten Linien 11′, 33′, 55′ gleich ein, drei, fünf Viertel von der Länge einer Lichtwelle. Durch die Abmessung dieser Linien wird es daher möglich sein, zur Kenntniß der Länge der Lichtwellen zu gelangen. Newton, welcher diese Messungen mit der ausgezeichnetsten Sorgfalt ausführte, fand die Wellenlänge am größten beim rothen, am kleinsten beim violetten Lichte. Die Länge einer Welle ist nach Newton für erstere ohngefähr dem 3400sten, für letztere dem 5000sten Theile einer Pariser Linie gleich.

(Fig. 113.)



Wie wir oben gesehen haben, ergiebt sich aus den Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten des Jupiters eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von 42,000 Meilen für die Secunde. Ist uns aber durch das Vorhergehende die Größe der Wellen, gleichsam der Schritte, gegeben, und außerdem die Länge des in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Weges bekannt, so läßt sich hieraus auch die Zahl der Schwingungen (der Schritte) herleiten, wie wir Aehnliches schon oben in der Lehre vom Schalle gethan haben. Wir haben nur nöthig zuzusehen, wie oft die Länge einer Welle, $^1/_{3400}$ Linie für rothes und $^1/_{5000}$ Linie für violettes Licht, in 42,000 Meilen enthalten ist. Wir erhalten so für das rothe Licht die Zahl von 450 Billionen und für das violette Licht die Zahl von 660 Billionen Schwingungen in der Secunde. Wenn diese Zahlen durch ihre ungeheuere Größe uns in Erstaunen setzen, so hoffen wir doch unsere Leser durch das Vorstehende überzeugt zu haben, daß dieselben auf einer einfachen und sicheren Basis beruhen; sie sind eine nothwendige Folge der von Niemand bezweifelten, sehr großen Geschwindigkeit des Lichtes und der sehr kleinen Länge der dieses so feine Agens fortpflanzenden Wellen.

Das Vorstehende betraf zunächst die Newton'schen Farbenringe, wie sie sich im einfarbigen Lichte zeigen. Im zusammengesetzten weißen Lichte erscheint die dunkele Mitte von abwechselnden regenbogenfarbigen Ringen umgeben. Diese Erscheinung erklärt sich sehr leicht aus der ungleichen Wellenlänge der das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen, in Folge deren die Verstärkung und Schwächung für die verschiedenen Farben an verschiedene Stellen fällt, an einer bestimmten Stelle sich daher immer nur gewisse Strahlengattungen verstärken, andere dagegen schwächen oder auslöschen. Der dunkele Fleck in der Mitte aber ist nur Folge davon, daß hier beide Gläser gleichsam ein Ganzes bilden, und daher das Licht an dieser Stelle nicht reflectirt, sondern durchgelassen wird. Eben so erklärt sich auch der beständige Wechsel der Farben, welchen die Seifenblasen zeigen, aus dem Vorangehenden mit der größten Leichtigkeit. Bei einer gewissen Dicke des dünnen Häutchens müssen die Wellen einer gewissen Farbe sich vorzugsweise verstärken, andere dagegen sich schwächen; es wird daher die Seifenblase sich dem Auge in der den ersteren entsprechenden Farbe zeigen.

So wie aber bei fortgesetztem Blasen die Seifenblase sich ausdehnt, das Häutchen also dünner wird, so wird auch die Verstärkung nicht mehr für die nehmliche, sondern für eine andere Strahlengattung eintreten, und also die Seifenblase mit veränderter Farbe erscheinen.

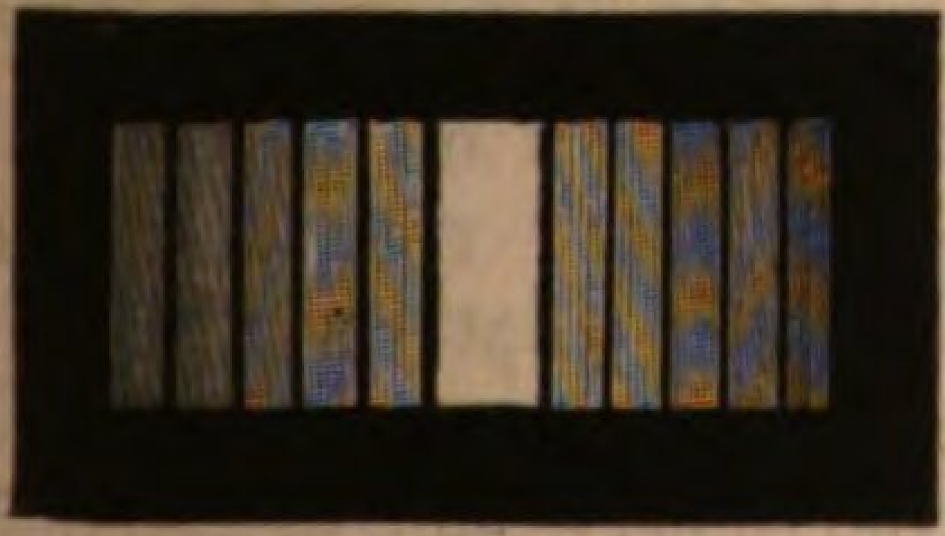
Beugung des Lichtes.

Wenn wir uns bei den Farbenerscheinungen der dünnen Blättchen länger verweilt und die Erklärung derselben nach der Vibrationshypothese ausführlicher entwickelt haben, so hoffen wir dies bei unsern Lesern durch die große Wichtigkeit der zugleich gewonnenen Resultate über die Größe der Wellenlängen und die Anzahl der Schwingungen für die verschiedenen Farbengattungen gerechtfertigt zu sehen. Wir würden jedoch besorgen, die Geduld unserer Leser zu ermüden, wollten wir nun auch noch die Erscheinungen der Beugung, zu denen wir uns jetzt wenden, und ihre Erklärung nach der Vibrationshypothese mit gleicher Ausführlichkeit vortragen. Wir beschränken uns daher in dieser Hinsicht auf eine kurze Skizze.

Wenn man in ein von der Sonne beschienenes verfinstertes Zimmer durch eine enge Oeffnung in einem Laden ein Büschel Sonnenstrahlen eintreten und zunächst auf ein Metallplättchen fallen läßt, in welchem sich ein sehr feiner Spalt befindet, dann die durch den Spalt hindurchgegangenen Strahlen in der Entfernung von mehreren Fußen mit einem weißen Schirme auffängt, so erblickt man auf diesem einen dem dünnen Spalte parallelen hellen Streifen und neben demselben zu beiden Seiten regenbogenfarbige Streifen.

Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen Lichte, indem man die durch die enge Oeffnung eintretenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma und durch den feinen Spalt nur eine Strahlengattung, z. B. nur rothes Licht gehen läßt, so erscheinen auf dem weißen Schirme nur abwechselnd rothe hellere und dunkelere Streifen, welche um so schmaler und schwächer werden, je mehr sich dieselben von der Mitte entfernen, wie dieß ohngefähr Fig. 114 darstellt.

(Fig. 114.)



Die Erklärung dieser Erscheinung nach der Vibrationshypothese ist im Wesentlichen folgende: Indem die innerhalb des freien Spaltes befindlichen Aethertheilchen von einer Lichtwelle getroffen und erschüttert werden, werden sie selbst die Mittelpunkte von neuen sich um dieselben ausbreitenden und im Aether fortschreitenden Wellen. Je nachdem nun diese Wellen an den verschiedenen Stellen, in denen sie zusammentreffen, in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen sich befinden, müssen sich dieselben entweder verstärken oder schwächen, wodurch auf dem auffangenden Schirm die abwechselnd hellen und dunkelen Streifen erscheinen.

Das Vorhergehende betraf zunächst nur die Erscheinung, wie sie sich im einfachen Lichte zeigt. Da den das weiße Licht zusammensetzenden Farben eine ungleiche Wellenlänge zukommt, so müssen auch die Stellen der Verstärkung oder Schwächung für dieselben eine ungleiche Lage haben; es wird daher auf dem auffangenden Schirme da, wo vorzugsweise die Wellen des rothen Lichtes sich verstärken, ein rother, wo vorzugsweise die Wellen des grünen oder blauen Lichtes sich verstärken, ein grüner oder blauer Streifen sich zeigen u. s. w.

Sehr schöne, aber verwickeltere Farbenerscheinungen werden erhalten, wenn man in einem verfinsterten Zimmer Licht durch mehrere hinter einander liegende feine Oeffnungen oder durch mehrere nahe neben einander befindliche feine Spalten oder durch ein feines Gitter gehen läßt. Auf dem nehmlichen Principe beruhen die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den feinen Bart einer Feder, durch die Haare eines Hutes, durch fein gewebte Zeuge nach der Sonne oder nach einer Lichtflamme sieht. Auch das Farbenspiel, welches die Perlmutter, die Flügel mancher Insecten, manche Seidenzeuge, abgestandene Gläser u. dgl. zeigen, gehören hierher. Die irisirende Eigenschaft der Perlmutter rührt nehmlich davon her, daß die Oberfläche derselben von äußerst feinen Linien durchzogen ist. Drückt man Perlmutter in Siegellack oder Wachs ab, so zeigt dieses ähnliche Farbenerscheinungen, wie die Perlmutter selbst.

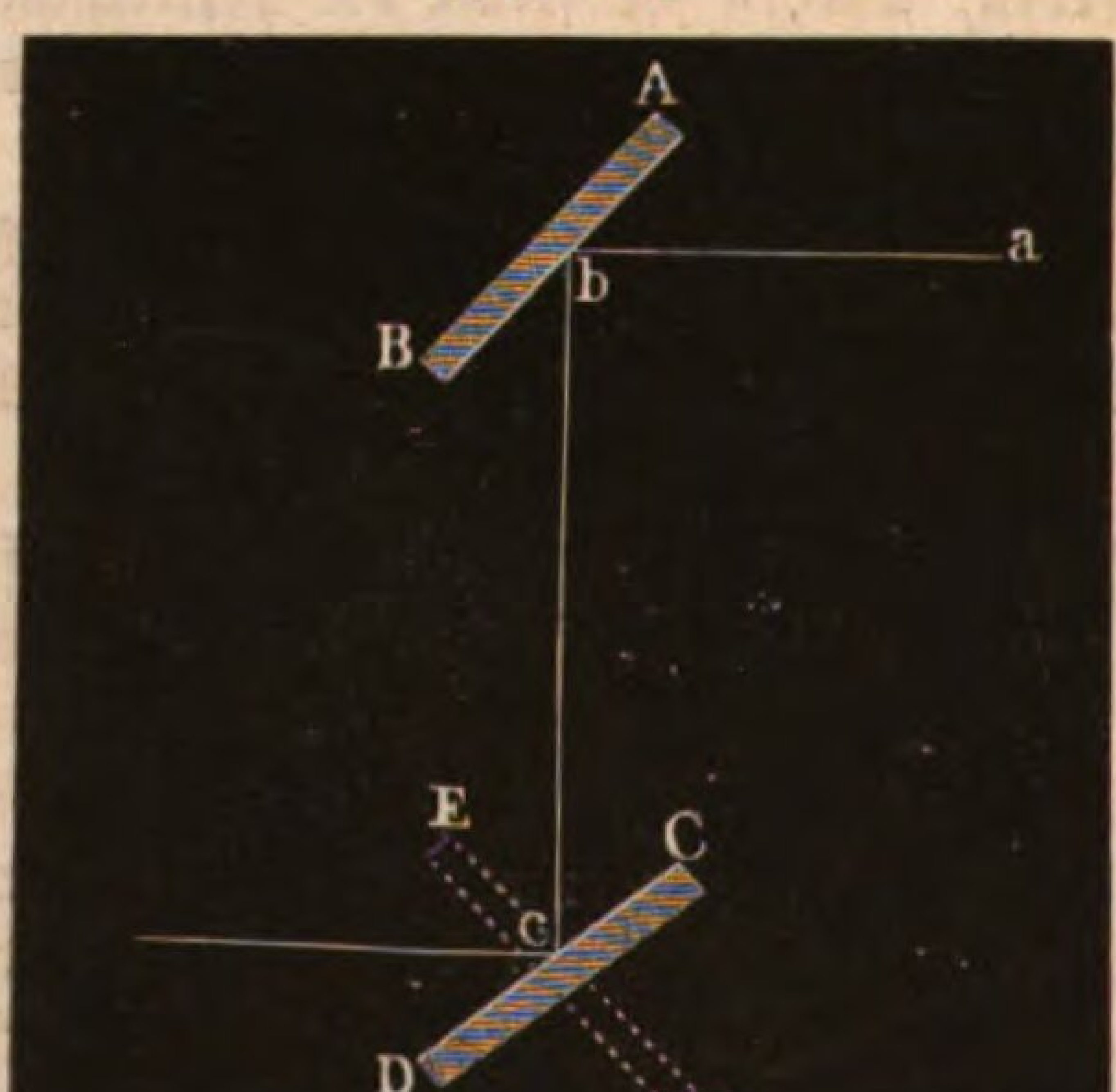
Auch die Höfe, welche man nicht selten um die Sonne und den Mond erblickt, ferner die sogenannten Nebensonnen und Nebenmonde, welche sich zuweilen, besonders bei sehr großer Kälte zeigen, beruhen theils auf der Beugung, welche die Strahlen der Sonne und des Mondes an den in der Atmosphäre schwebenden Dunstbläschen, theils auf der Brechung und Reflexion, welche dieselben in und an den feinen Eisnadeln erleiden, welche besonders in den höheren Regionen der Atmosphäre schweben.

Polarisation des Lichtes.

Wir beschließen die Lehre vom Lichte, indem wir unseren Lesern noch eine höchst merkwürdige Eigenschaft des Lichtes vorführen, welche sich jedoch nur mit Hülfe künstlicher Apparate beobachten läßt und mit den im gewöhnlichen Leben sich zeigenden Erscheinungen kaum in einem Zusammenhange steht. Wir würden jedoch bei der Merkwürdigkeit dieser Eigenschaft den Vorwurf einer wesentlichen Lücke besorgen müssen, wollten wir dieselbe ganz unerwähnt lassen.

Wenn ein Lichtstrahl von einer spiegelnden Fläche, z. B. von der Oberfläche des Wassers, polirten Holzes, überhaupt von der glatten Oberfläche irgend eines nicht metallischen Körpers — Metalle machen hierin eine Ausnahme — schief zurückgeworfen worden oder durch irgend eine durchsichtige Substanz in schiefer Richtung hindurchgegangen ist, so zeigt derselbe in gewissen sogleich näher anzugebenden Fällen ein von einem gewöhnlichen Lichtstrahle verschiedenes Verhalten und wird, zum Unterschiede von gewöhnlichem Lichte, polarisirt genannt.

(Fig 115.)



Um von unseren Lesern, denen die hierbei anzuwendenden Apparate nicht zu Gebote stehen, leichter verstanden zu werden, wollen wir bei der folgenden Beschreibung von einem ganz bestimmten Falle ausgehen.

Auf eine Scheibe von Spiegelglas AB, Fig. 115, welche unter einem Winkel von 45^0 gegen den Horizont und zwar in der Richtung nach Osten geneigt sein soll, falle in wagerechter Richtung von Osten nach Westen ein Lichtstrahl ab; dann wird derselbe von dem Spiegel AB

in der senkrechten Richtung bc reflectirt. Dieser reflectirte Strahl, welcher nach dem oben Gesagten polarisirt ist, treffe in c eine der obern parallele Spiegelglasplatte CD, so wird er mit dieser offenbar ebenfalls einen Winkel von 45° bilden; dasselbe wird auch der Fall sein, wenn der untere Spiegel nicht gegen Osten, sondern gegen Westen unter einem Winkel von 45° geneigt ist, also die Lage EF hat. Eben so wird der Strahl bc den untern Spiegel beständig unter demselben Winkel von 45° treffen, wenn dieser bei gleich bleibendem Neigungswinkel gegen Süden oder Norden hin gewendet ist.

Wäre nun bc ein gewöhnlicher Lichtstrahl, so könnte es offenbar keinen Unterschied machen, welche Lage der Spiegel CD gegen die Himmelsgegenden hat, so lange derselbe nur überhaupt mit dem Horizonte und dem einfallenden Strahle bc den nehmlichen Winkel von 45° bildet. Anders dagegen verhält sich der von dem Spiegel AB reflectirte und in Folge dieser Reflexion polarisirte Lichtstrahl bc. Derselbe wird, wenn der untere Spiegel CD mit dem oberen Spiegel AB parallel, also nach unserer Annahme gegen Osten geneigt ist, am vollständigsten zurückgeworfen und am schwächsten durchgelassen. Das Nehmliche ist der Fall, wenn der untere Spiegel die Lage EF, also die gerade entgegengesetzte Neigung nach Westen hat. Der polarisirte Strahl wird dagegen am schwächsten zurückgeworfen und am vollständigsten durchgelassen, wenn der untere Spiegel in die Zwischenlagen mit der Neigung gegen Süden oder Norden gebracht worden ist.

An dem polarisirten Strahle lassen sich also gleichsam vier Hauptseiten unterscheiden. Er wird am vollständigsten reflectirt, wenn er mit einer gewissen oder der gerade gegenüberstehenden Seite gegen die reflectirende Fläche gewendet ist, am wenigsten aber, wenn er eine der in der Mitte zwischen jenen liegenden Seiten der spiegelnden Fläche zuwendet. Eine durch den polarisirten Strahl in der Richtung der beiden ersten Seiten gelegten Ebene wird die Polarisationsebene genannt.

Das eben Ausgeführte gilt jedoch nicht bloß für den besonders beschriebenen Fall, sondern allgemein für jeden von einer polirten, nicht metallischen Fläche reflectirten Strahl. Unwesentlich ist in der vorstehenden Beschreibung, welche um größerer Deutlichkeit willen an leicht zu überblickende besondere Verhältnisse angeknüpft worden ist, die Richtung von Osten nach Westen und die wagerechte Lage des einfallenden und eben so die senkrechte Lage des polarisirten Strahles. Wesentlich ist dagegen der Winkel, welchen der einfallende und der polarisirte Strahl mit den Spiegelflächen bilden. Der Winkel von 45° ist jedoch nicht gerade der vortheilhafteste; vielmehr ist bei Glasspiegeln ein Neigungswinkel von ohngefähr 33° derjenige, unter welchem ein Lichtstrahl am vollständigsten polarisirt wird.

Dieser Winkel der vollkommensten Polarisation ist für verschiedene Substanzen verschieden und hängt von dem Brechungsvermögen derselben ab. Er ist für schwächer brechende Substanzen größer, als für stärker brechende, und beträgt z. B. für Wasser ohngefähr 37°.

Nach der Vibrationshypothese unterscheidet sich ein polarisirter Lichtstrahl von einem gewöhnlichen darin, daß bei ersterem die Aethertheilchen nur in einer Ebene, (welche nach der Annahme der meisten Physiker auf der Polarisationsebene senkrecht steht,) bei einem gewöhnlichen Lichtstrahle in verschiedenen Ebenen schwingen. Es erklärt sich hieraus auch die Erscheinung, daß zwei polarisirte Lichtstrahlen beim Zusammentreffen sich am vollständigsten interferiren, verstärken oder schwächen, wenn ihre Polarisations-

ebenen eine gleiche Lage haben, daß sie dagegen nicht interferirend auf einander wirken, wenn ihre Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen.

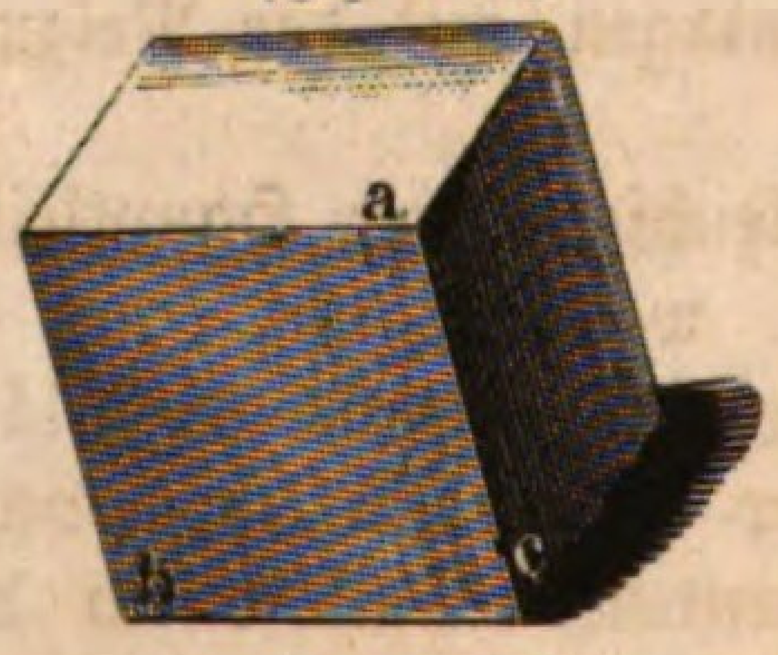
In dieser Erscheinung ist zugleich der Grund enthalten, weßhalb man, wie schon oben angeführt, in der Vibrationshypothese annimmt, daß in den das Licht fortpflanzenden Aetherwellen die Aethertheilchen, nicht wie bei den Schallwellen in der Luft in der Richtung des Radius, sondern in der auf diesen senkrechten Richtung, in ähnlicher Art wie die Wassertheilchen bei den auf der Oberfläche des Wassers fortschreitenden Wellen, schwingen.

Doppelte Brechung des Lichtes.

An das Vorstehende anreihend, erwähnen wir noch kurz einer Eigenschaft, welche viele krystallisirte durchsichtige Substanzen, in ausgezeichnetstem Maaße aber der Kalkspath, besitzen, nehmlich einen Lichtstrahl bei der Brechung in zwei zu spalten, so daß Gegenstände, durch einen Kalkspathkrystall gesehen, doppelt erscheinen. Die beiden Strahlen, in welcher ein Lichtstrahl bei der doppelten Brechung gespalten wird, verhalten sich nicht wie gewöhnliches Licht, sondern sind polarisirt und zwar allemal so, daß ihre Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen.

Wie wir schon oben S. 69 gesehen haben, läßt sich der Kalkspath sehr leicht nach drei Richtungen spalten. Die Stücke, welche man auf diese Art erhält, haben die Gestalt eines Rhomboeders, Fig. 116. Eine Linie, welche die Ecke a, in welcher drei stumpfe Winkel zusammenstoßen, mit der gegenüberliegenden Ecke verbindet, wird die optische Achse des Kalkspaths genannt. Ein in der Richtung dieser Achse in denselben eintretender Strahl wird nicht in zwei zerlegt, sondern geht ungespalten hindurch. — Aehnliches gilt von anderen das Licht doppelt brechenden Substanzen.

(Fig. 116.)



Nach der Vibrationshypothese beruht die doppelte Brechung des Lichtes darauf, daß der Aether in den Poren der das Licht doppelt brechenden Substanzen nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Dichte besitzt.

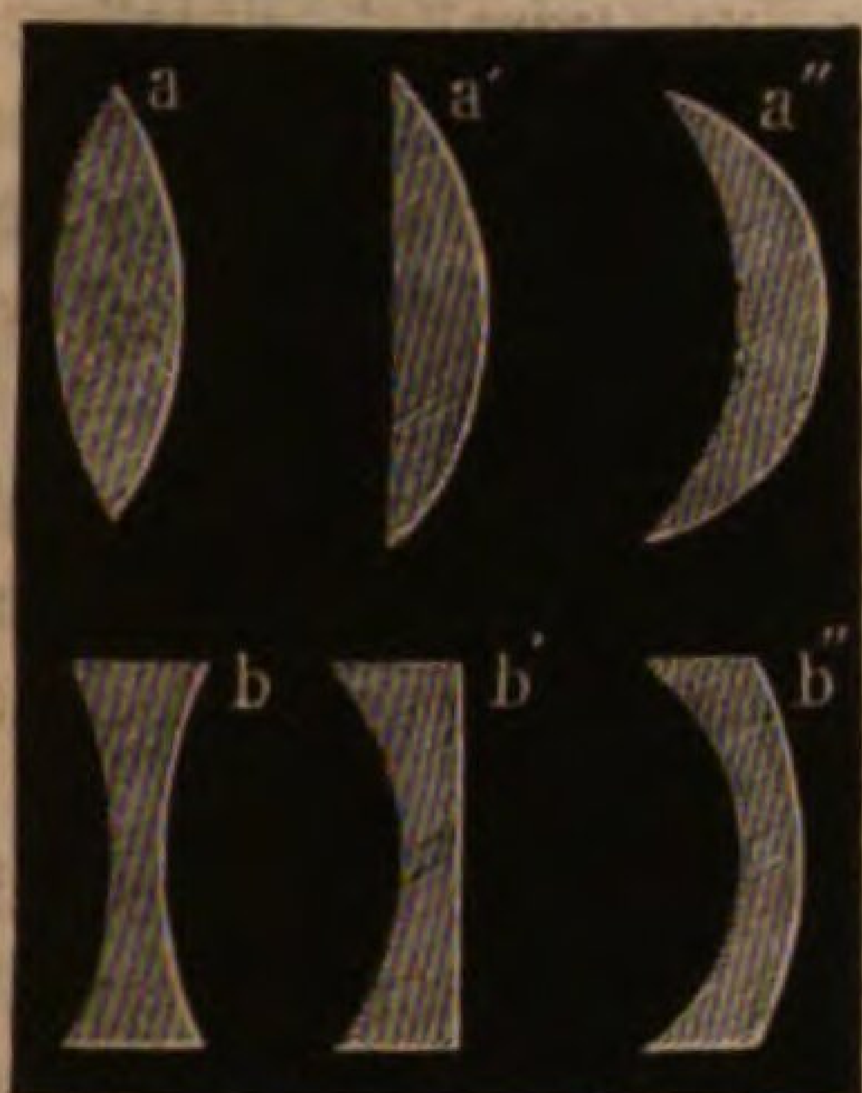
Endlich führen wir noch an, daß dünne Blättchen von Gyps, Glimmer, senkrecht zur optischen Axe geschnittene Platten von Kalkspath und anderen das Licht doppelt brechenden Substanzen im polarisirten Lichte sehr schöne Farbenerscheinungen zeigen, welche in ähnlicher Art, wie die Erscheinung der Beugung, durch die Interferenz der Lichtwellen erklärt werden. — Wir übergehen die Beschreibung dieser Erscheinungen, da wir die zur Erzeugung derselben nöthigen Apparate bei unseren Lesern nicht voraussetzen und nicht wohl annehmen können, daß die bloße Beschreibung ohne Anschauung der Erscheinung selbst unseren Lesern ein hinreichendes Interesse gewähren dürfte.

Nachdem wir nun die wichtigsten Gesetze der Optik und derjenigen Naturerscheinungen, welche in denselben ihre Erklärung finden, unseren Lesern vorgeführt haben, fügen wir noch die Beschreibung einiger optischen Apparate hinzu, deren Einrichtung und Gebrauch sich ebenfalls auf jene Gesetze gründet. Wir meinen hauptsächlich das Fernrohr, welchem vorzüglich die Astronomie ihre großartigen Entdeckungen verdankt, und das Mikroskop, durch welches besonders in der neuesten Zeit für mehrere andere Zweige der Naturwissenschaften nicht minder wichtige Aufschlüsse gewonnen worden sind. Außerdem sollen noch gelegentlich einige andere Apparate von geringerer Wichtigkeit angeführt werden.

Einen Haupttheil fast aller zusammengesetzten optischen Apparate bilden

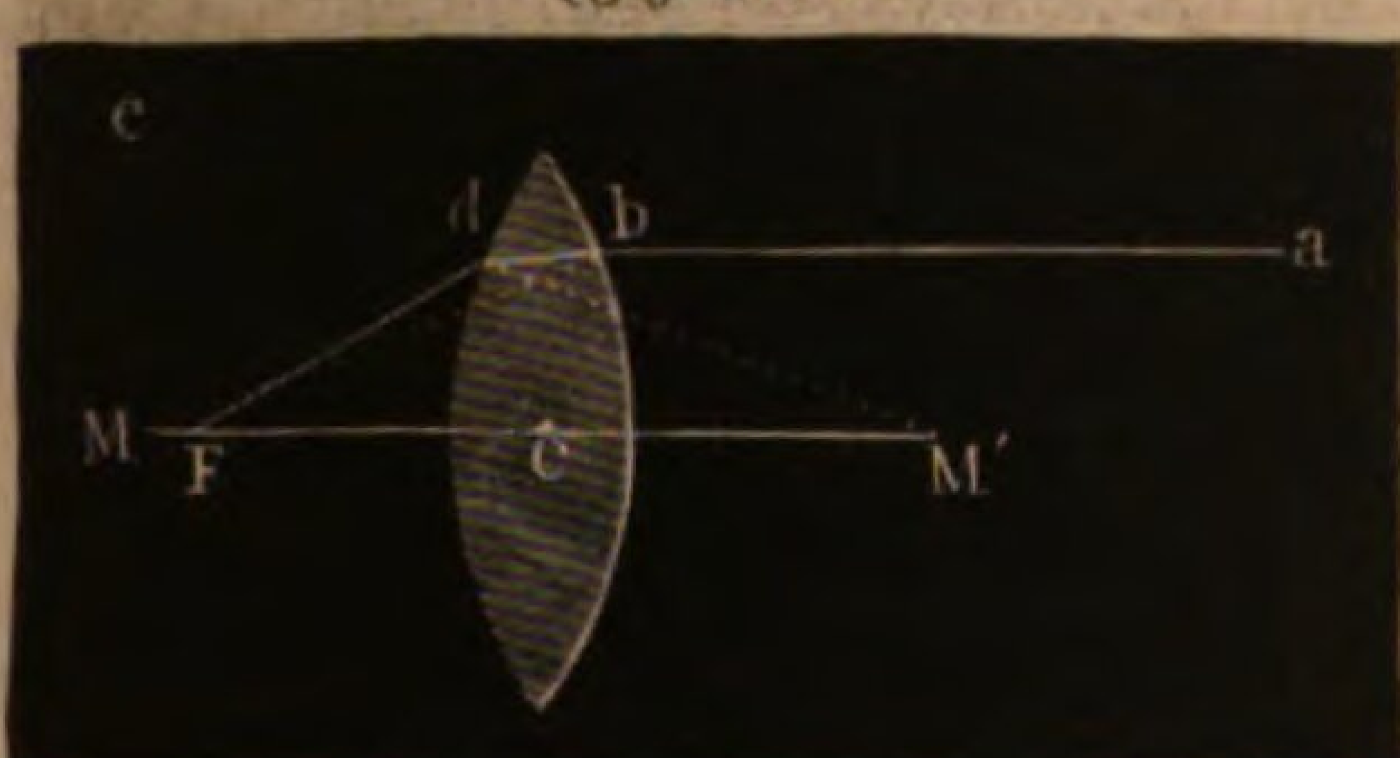
Glaslinsen. Man nennt eine Linse überhaupt einen Körper, welcher entweder von zwei kugelförmigen oder von einer ebenen und einer kugelförmigen Fläche begrenzt ist. In optischer Hinsicht haben wir wesentlich Sammellinsen und Zerstreuungslinsen zu unterscheiden. Die ersteren machen, wie wir gleich weiter sehen werden, parallele Strahlen convergent, die letzteren machen parallele Strahlen divergent; die ersteren sind in der Mitte dicker als am Rande, die letzteren sind am Rande dicker als in der Mitte. Die Sammellinsen sowohl wie die Zerstreuungslinsen können wieder von dreierlei Art sein, wie dieß Fig. 117 zeigt. Die drei Formen a, a′, a″ der Sammellinsen und eben so die drei Formen der Zerstreuungslinsen b, b′, b″ stimmen jedoch in ihrem optischen Verhalten im Wesentlichen unter sich überein, so daß es für unseren Zweck vollständig ausreichen wird, bei jeder Gattung nur eine dieser Formen zu berücksichtigen, als welche wir bei den Sammellinsen die biconvexe a, bei den Zerstreuungslinsen die biconcave b wählen werden. Weiter bemerken wir noch, daß bei allen Linsen eine durch die Mittelpunkte der beiden kugelförmigen Grenzflächen gehende Linie die Axe und ein Punkt im Innern der Linse, welcher in der Axe und in der Mitte zwischen den beiden Grenzflächen der Linse liegt, das optische Centrum genannt wird. Linsen.

(Fig 117.)



Es sei nun C, Fig. 118, das optische Centrum, und M und M′ seien die Mittelpunkte einer biconvexen Linse. Ein mit der Axe paralleler Strahl ab treffe die vordere Fläche der Linse in b; verbinden wir diesen Punkt mit dem Krümmungsmittelpunkte M, so ist der Radius Mb als das Einfallsloth anzusehen, weil derselbe auf der durch den Punkt b gehenden Tangente senkrecht steht. Da der Lichtstrahl bei b aus Luft in Glas übergeht, so wird derselbe hier zum Einfallslothe, wie wir annehmen wollen, in die Richtung bd gebrochen. Der gebrochene Strahl bd, welcher die hintere Fläche der Linse in d trifft, tritt hier aus dem Glase in Luft aus; ziehen wir daher für den Punkt d das Einfallsloth M′de, so wird derselbe vom Einfallslothe, etwa in die Richtung dF gebrochen.

(Fig. 118.)

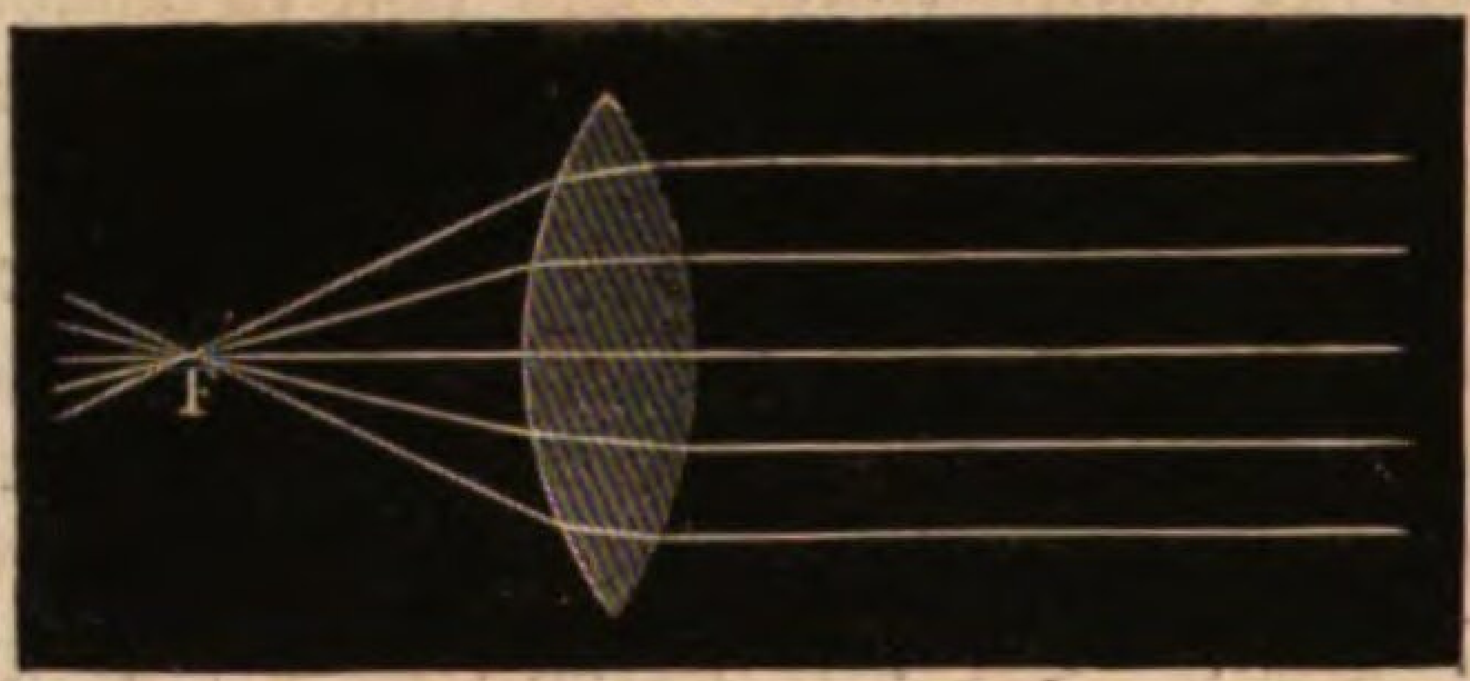


Der einfallende Strahl ab war mit der Axe parallel, der eintretende Strahl bd wurde gegen dieselbe convergent, und der austretende Strahl dF wurde noch stärker convergent. Diese letzteren Behauptungen gelten, wie aus der vorstehenden Erörterung folgt, nicht bloß für den Strahl ab, sondern offenbar für jeden mit der Axe parallel einfallenden Strahl. Alle mit der Axe parallel einfallende Strahlen werden also durch die Brechung in der Linse zur Axe convergent.

Durch theoretische Gründe, deren Auseinandersetzung uns jedoch zu weit führen würde, läßt sich weiter zeigen, so wie auch durch die Erfahrung be=

stätigen, daß sämmtliche parallel mit der Axe einfallende und die Linse in nicht zu großem Abstande von der Mitte treffende Strahlen nach der Brechung durch die Linse die Axe, wenn auch nicht genau, doch sehr nahe in demselben Punkte F, Fig. 119, schneiden. Dieser Vereinigungspunkt der mit der Axe parallel einfallenden Strahlen nach der Brechung durch die Linse wird der **Brennpunkt** der Linse genannt.

(Fig. 119.)

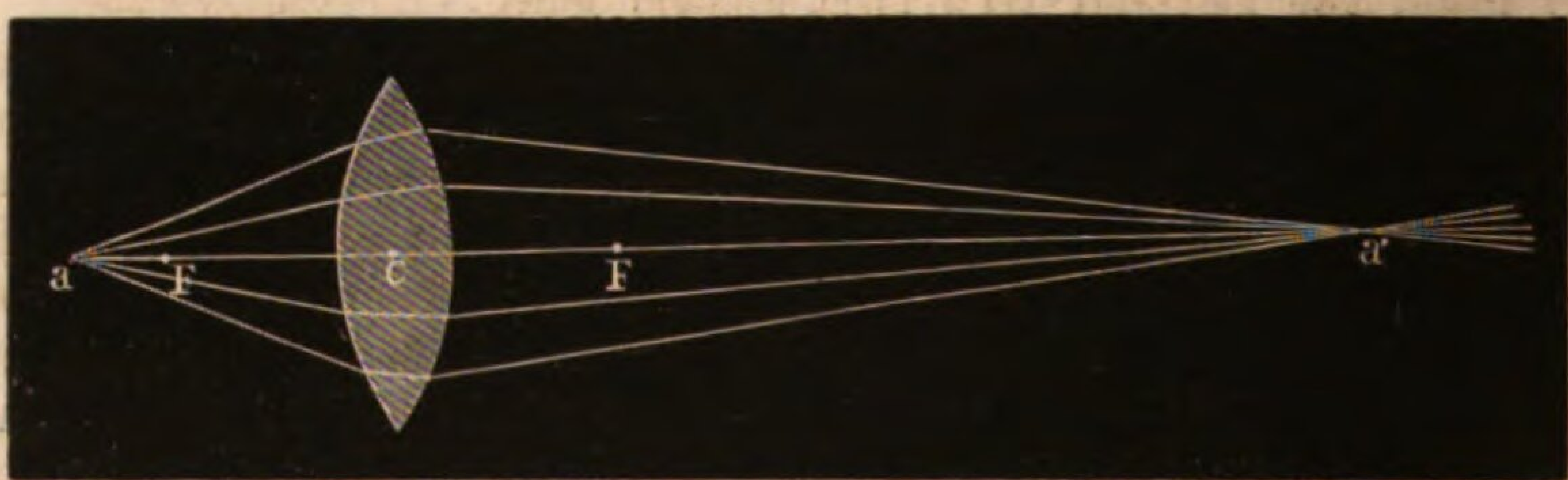


Umgekehrt geht aber hieraus hervor, daß, wenn in dem Brennpunkte F einer Linse ein leuchtender Punkt vorhanden ist, die von demselben auf die Linse fallenden Strahlen so gebrochen werden, daß sie in paralleler Richtung mit der Achse aus der Linse austreten.

Während also parallele Strahlen durch die Linse nach dem Brennpunkte hin convergent gemacht werden, werden umgekehrt von dem Brennpunkte aus divergent auf die Linse fallende Strahlen durch die Brechung in derselben parallel.

Wenn aber von einem Punkte a, Fig. 120, welcher weiter als der Brennpunkt F von der Linse entfernt ist, Strahlen auf dieselbe fallen, so

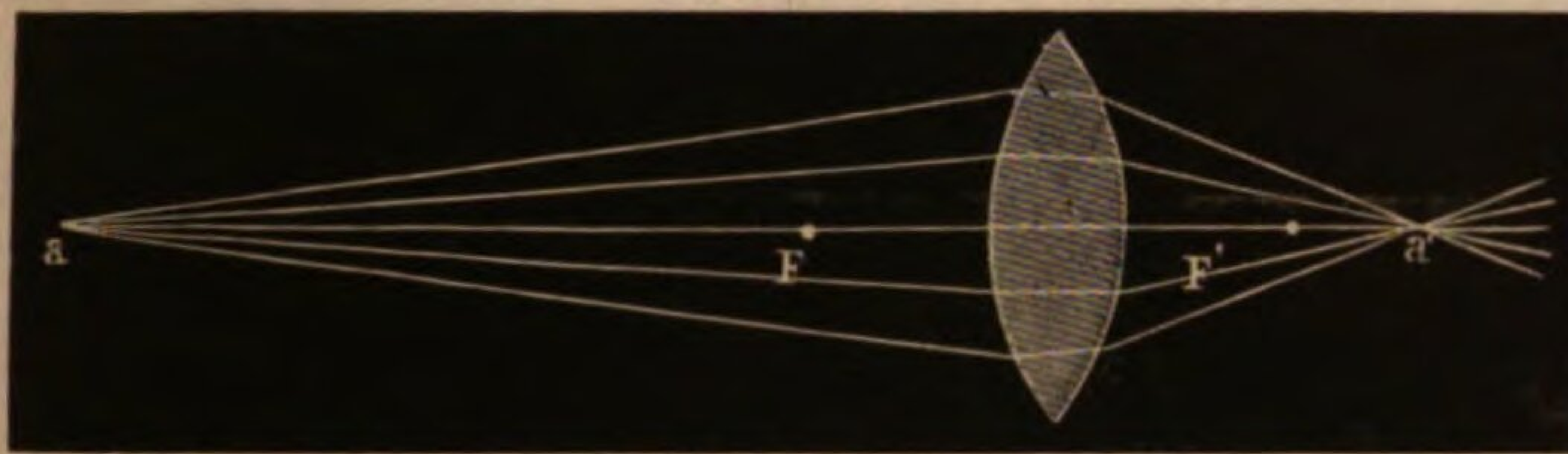
(Fig. 120.)



sind dieselben offenbar schwächer divergent, als Strahlen, welche, vom Brennpunkte ausgehend, die Linse treffen; sie werden daher nicht, wie diese, durch die Brechung in der Linse parallel, sondern convergent gemacht werden, so daß sie die Axe durchschneiden, und zwar (wenn auch nicht genau, doch sehr nahe) in ein und demselben Punkte a'. Ein weiter von der Linse, aber in der Richtung dieser Strahlen befindliches Auge wird daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken, oder wenn in dem Abstande a'C von der Linse ein weißer Schirm aufgestellt ist, so wird sich auf demselben in a' ein heller Punkt zeigen.

Je mehr der leuchtende Punkt a sich dem Brennpunkte der Linse nähert, um so stärker divergent fallen die von demselben ausgehenden Strahlen auf die Linse, um so schwächer convergent werden dieselben daher aus der Linse austreten, und um so weiter muß folglich der Vereinigungspunkt a' hinausrücken. Umgekehrt wird sich derselbe der Linse nähern, wenn sich der leuchtende Punkt a von der Linse entfernt. Ist der leuchtende Punkt a, Fig. 121, von der Linse sehr weit entfernt, so daß die von demselben ausgehenden Strahlen fast parallel auf die Linse fallen, so werden sich die ge-

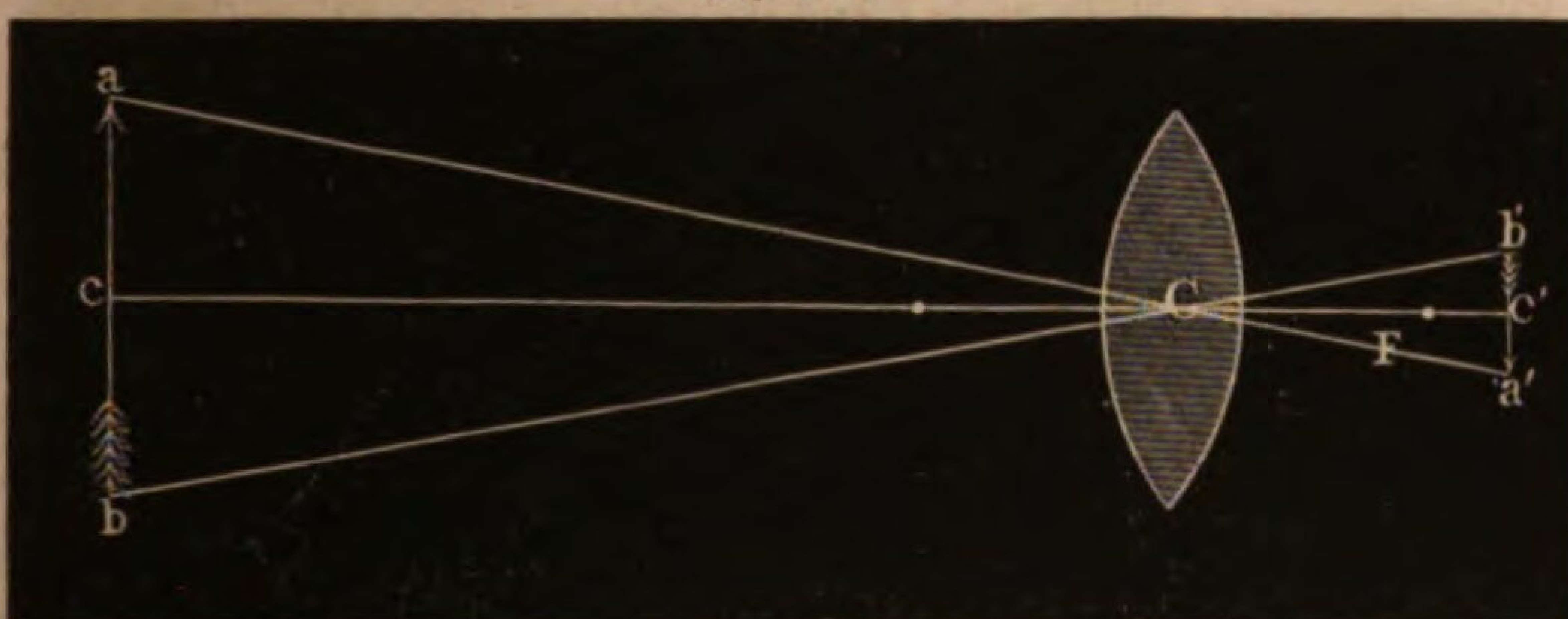
(Fig. 121.)



brochenen Strahlen in einem Punkte a' vereinigen, welcher nur wenig jenseits des an der andern Seite der Linse liegenden Brennpunktes F' fällt.

Wenden wir nun diese Erörterungen auf einen vor der Linse, aber in beträchtlicher Entfernung von derselben, befindlichen Gegenstand ab, Fig. 122,

(Fig. 122.)



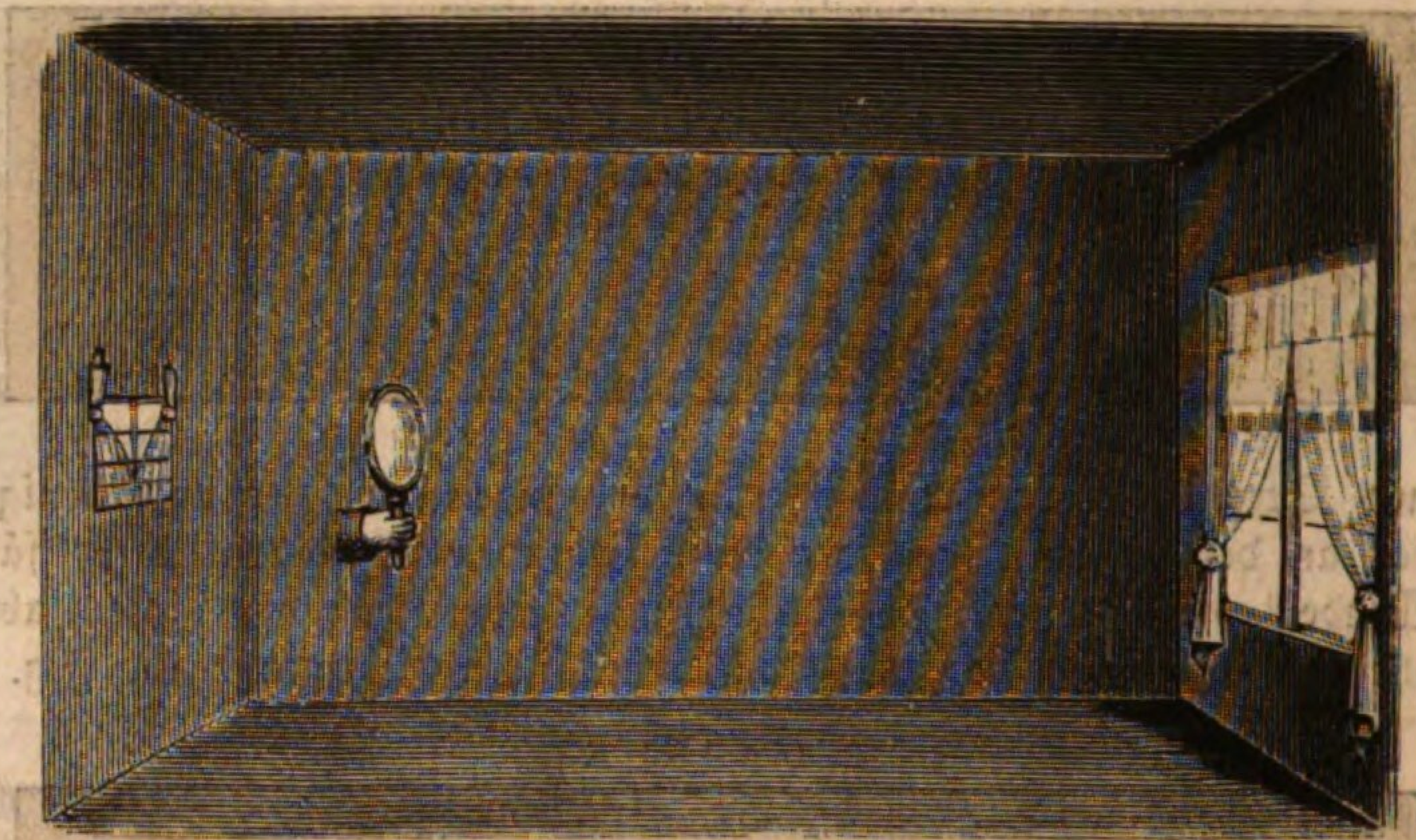
an. Von dem leuchtenden Punkte c in der Axe entsteht zu Folge des Vorhergehenden etwas jenseits des Brennpunktes F ein Bild c' in der Axe. Das Bild des außerhalb der Axe liegenden Punktes a fällt eben so in die Verlängerung des durch das optische Centrum C gehenden Hauptstrahles aC, etwa in a', und auf gleiche Weise entsteht in b' ein Bild des Punktes b. Da nun die Bilder der zwischen a und b liegenden Punkte des leuchtenden Gegenstandes ab offenbar zwischen a' und b' zu liegen kommen, so setzen dieselben ein umgekehrtes und verkleinertes Bild a'b' des leuchtenden Gegenstandes ab zusammen, welches um so näher an den Brennpunkt F fällt, je weiter der Gegenstand a'b' selbst von der Linse entfernt ist.

Zur Bestätigung des Vorhergehenden stellen wir folgenden Versuch an: In einem Zimmer, in welchem nur ein Fenster vorhanden ist, oder alle anderen bis auf eines durch Laden verschlossen sind, halten wir eine Sammellinse (ein Brennglas), in angemessenem Abstande von einer dem Fenster gegenüberliegenden weißen Wand; es erscheint dann auf dieser ein umgekehrtes Bild des Fensters, Fig. 123. Haben wir die Linse der Wand so weit genähert oder von derselben entfernt, daß das Bild des Fensters sich vollkommen deutlich zeigt, so ist der Abstand der Linse von der Wand sehr nahe der Brennweite der Linse gleich, vorausgesetzt, daß diese einige Zolle nicht übersteigt, und das Fenster mehrere Fuße von der Wand entfernt ist. Wir erhalten so ein sehr einfaches Mittel, die Brennweite einer Linse annähernd zu bestimmen.

Die Camera obscura.

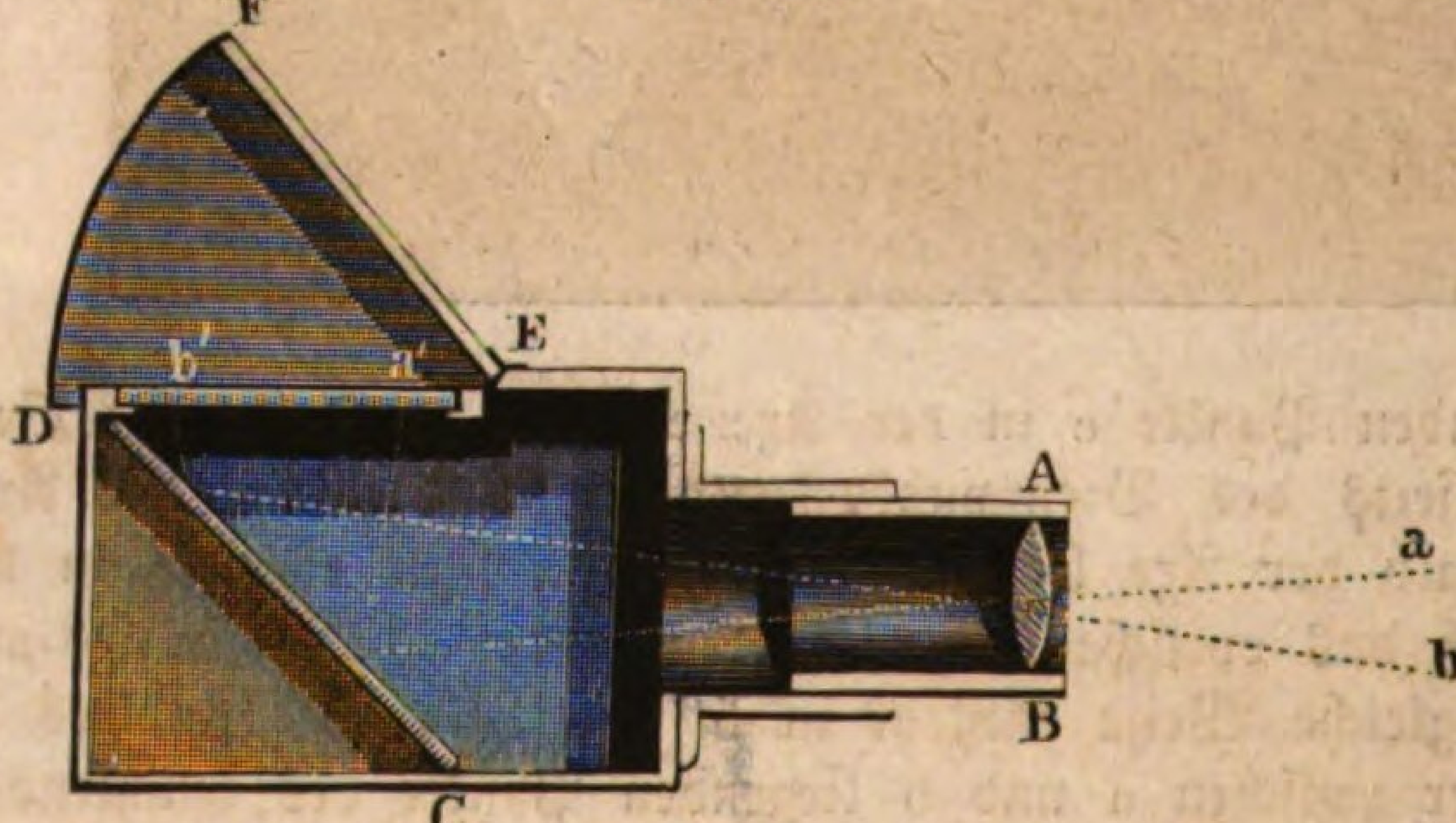
Das Bild, welches auf diese Art entsteht, erscheint verkehrt. Um demselben eine für das Auge bequeme Lage zu geben, ist in der Camera obscura, deren Einrichtung wesentlich auf dem eben Gesagten beruht, ein unter

(Fig. 123.)



45⁰ geneigter Spiegel CD, Fig. 124, angebracht. Die von einem entfernten Gegenstande ab ausgehenden Strahlen werden durch die Sammellinse AB so gebrochen, daß sie sich erst hinter dem Spiegel CD vereinigen würden; indem sie aber auf diesen fallen, werden sie nach a' und b' hin zurückgeworfen und erzeugen hier auf einer matt geschliffenen Glasscheibe in der Lage a'b' ein Bild des leuchtenden Gegenstandes ab.

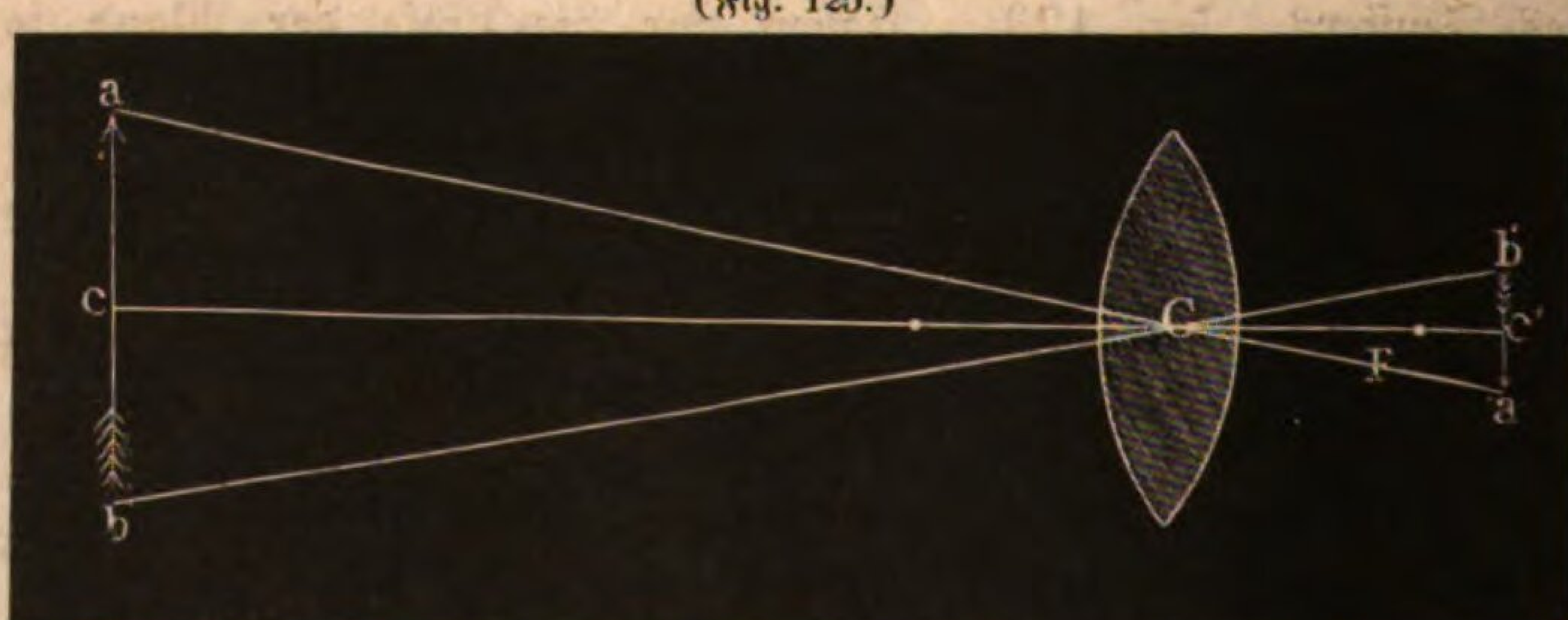
(Fig. 124.)



So wie wir nehmlich oben gezeigt haben, daß ein Planspiegel divergent auf denselben auffallende Strahlen divergent zurückwirft, so werden umgekehrt auf einen Planspiegel convergent auffallende Strahlen, wie dieß hier der Fall ist, auch convergent zurückgeworfen, also so, daß die Vereinigungspunkte derselben vor den Spiegel fallen.

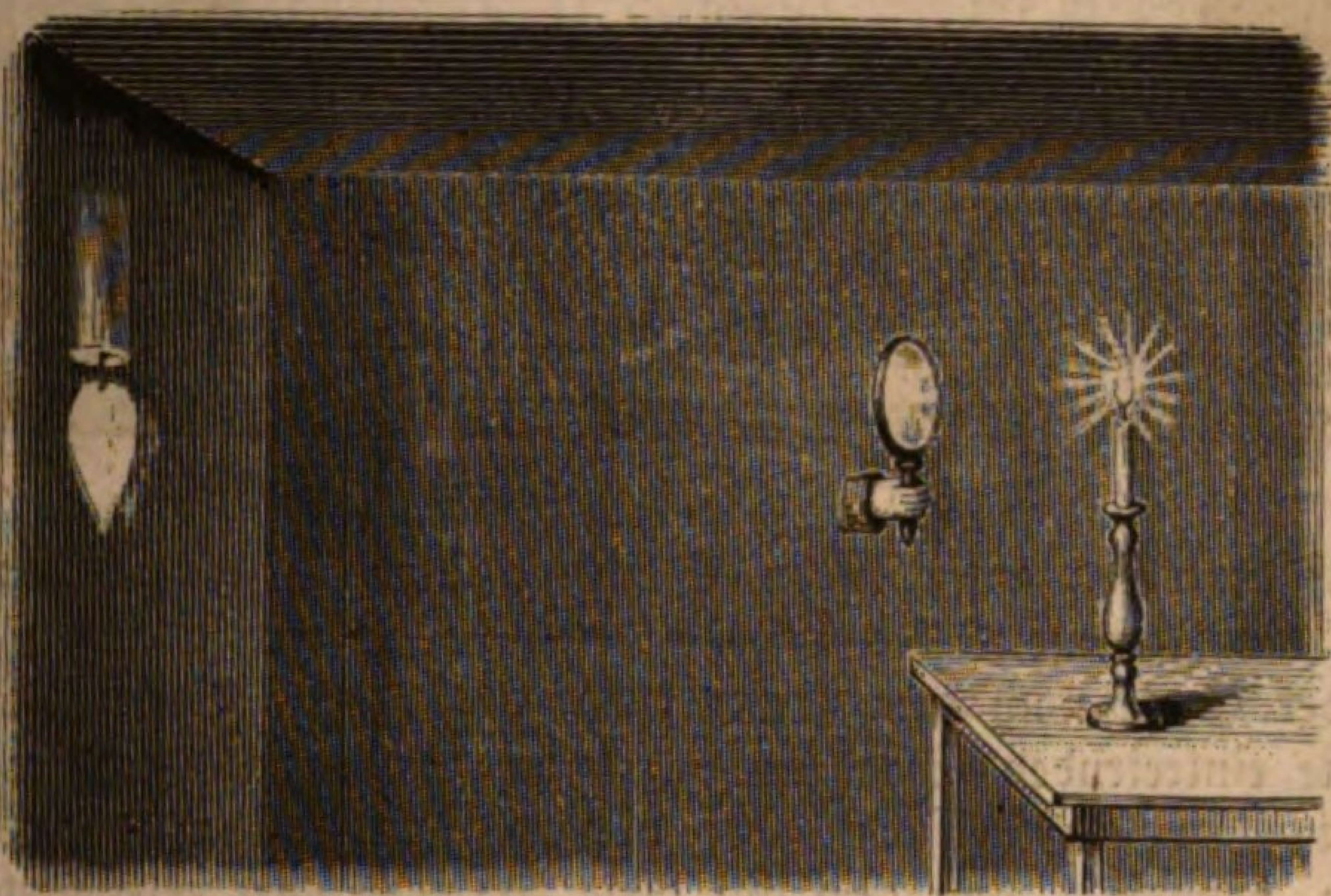
Damit das Bild a'b' für das Auge besser hervortritt, ist zur Abhaltung anderen Lichtes der undurchsichtige Schirm EF angebracht.

(Fig. 125.)



So wie eine Sammellinse von einem fernen Gegenstande ab, Fig. 125, ein umgekehrtes und verkleinertes Bild a'b' in der Nähe des Brennpunktes erzeugt, so wird durch dieselbe umgekehrt von einem in der Nähe des Brennpunktes F befindlichen Gegenstande a'b' ein umgekehrtes und vergrößertes Bild ab erzeugt. — Wenn man am Abende eine Lichtflamme einer Sammellinse hinreichend nähert, so erscheint auf der gegenüberliegenden Wand ein verkehrtes und vergrößertes Bild der Flamme, Fig. 126.

(Fig. 126.)

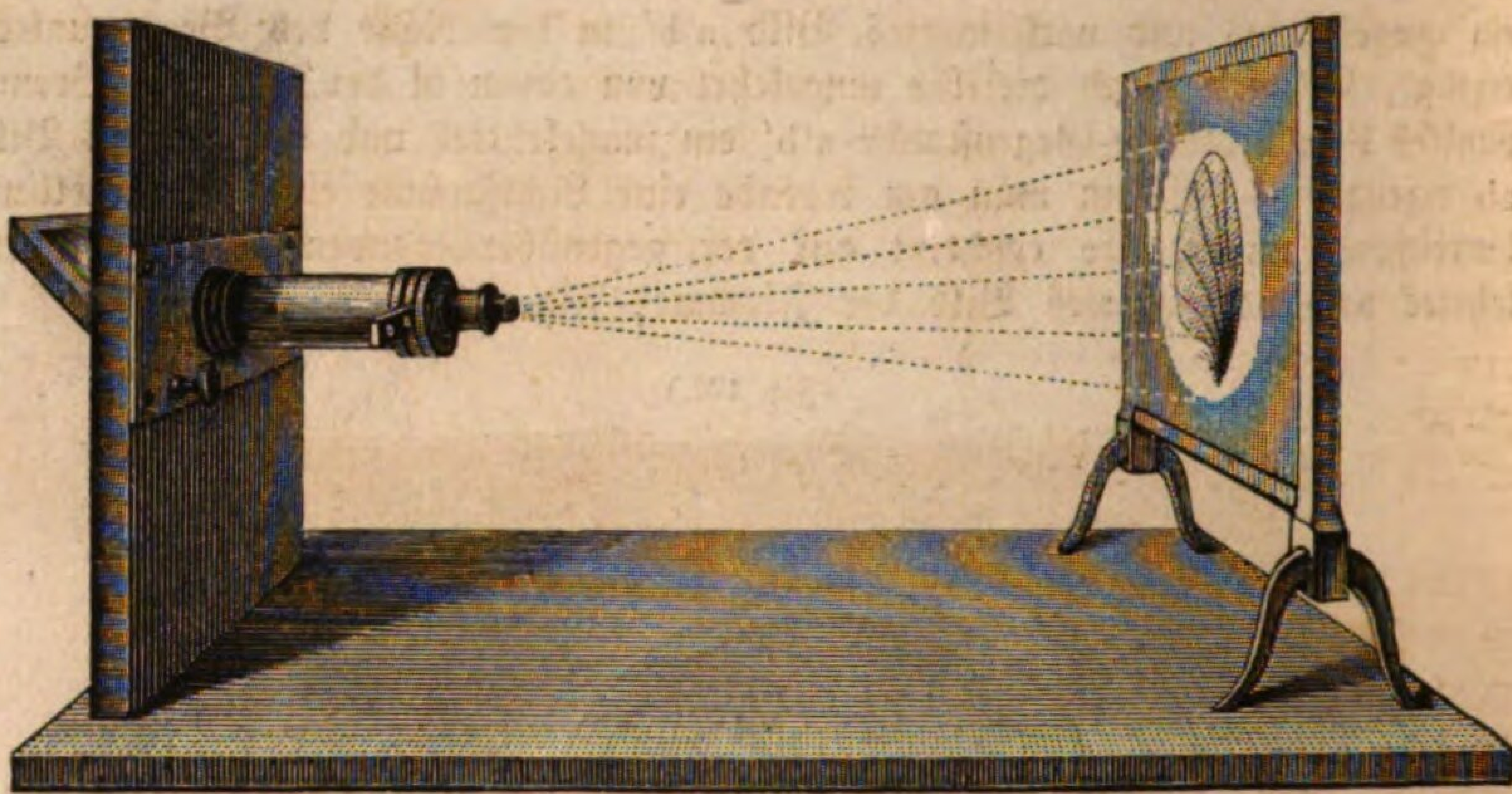


Diese vergrößerten Bilder gewähren den Kindern ein unterhaltendes Spielwerk in der Zauberlaterne, laterna magica, deren Einrichtung wir bei unseren Lesern als bekannt voraussetzen. Wir erinnern nur an Folgendes: Auf Glas gemalte Bilder werden verkehrt eingesetzt, damit die Abbildungen derselben auf der weißen Wand aufrecht erscheinen. Da mit der Vergrößerung die Lichtstärke abnimmt, werden dieselben durch die Flamme einer Lampe möglichst stark erleuchtet. Zur Erzeugung der vergrößerten Bilder wendet man gewöhnlich nicht eine, sondern zwei Linsen an, und zwar aus folgenden Gründen: Eine Linse vergrößert offenbar um so stärker, je stärker dieselbe gekrümmt und je kürzer folglich ihre Brennweite ist. Eine stark gekrümmte Linse kann aber natürlich nur klein sein und daher nur wenig Licht durchlassen. Zwei nahe hinter einander angebrachte schwächer gekrümmte, größere Linsen bewirken eine eben so starke Vergrößerung, als eine einzige stärker gekrümmte, kleinere Linse, aber sie lassen mehr Licht durch und sind eben deshalb für die Zauberlaterne besser geeignet. Die Zauberlaterne.

Mit diesem auf gleichem Prinzipe beruhen das Knallgas- oder Hydrooxygengasmikroscop und das Sonnenmikroscop. Da bei diesen ein Gegenstand viele tausendmal vergrößert wird, so muß man für eine besonders starke Beleuchtung Sorge tragen. Man erhält ein höchst intensives Licht, indem man ein Stückchen Kalk oder Kreide im Knallgasgebläse glühend macht. Eben so kann man zur Beleuchtung der kleinen Objecte auch sehr vortheilhaft das noch stärkere electrische Licht, von dessen Erzeugung weiter unten gehandelt werden wird, anwenden. Das Sonnenmikroscop.

Bei dem Sonnenmikroscope, dessen Einrichtung Fig. 127 zeigt, ist an der Außenseite des Ladens eines sorgfältig verfinsterten Zimmers ein Spiegel, welcher vermittelst einer Schraube im Innern bewegt werden kann, so gestellt,

(Fig. 127.)

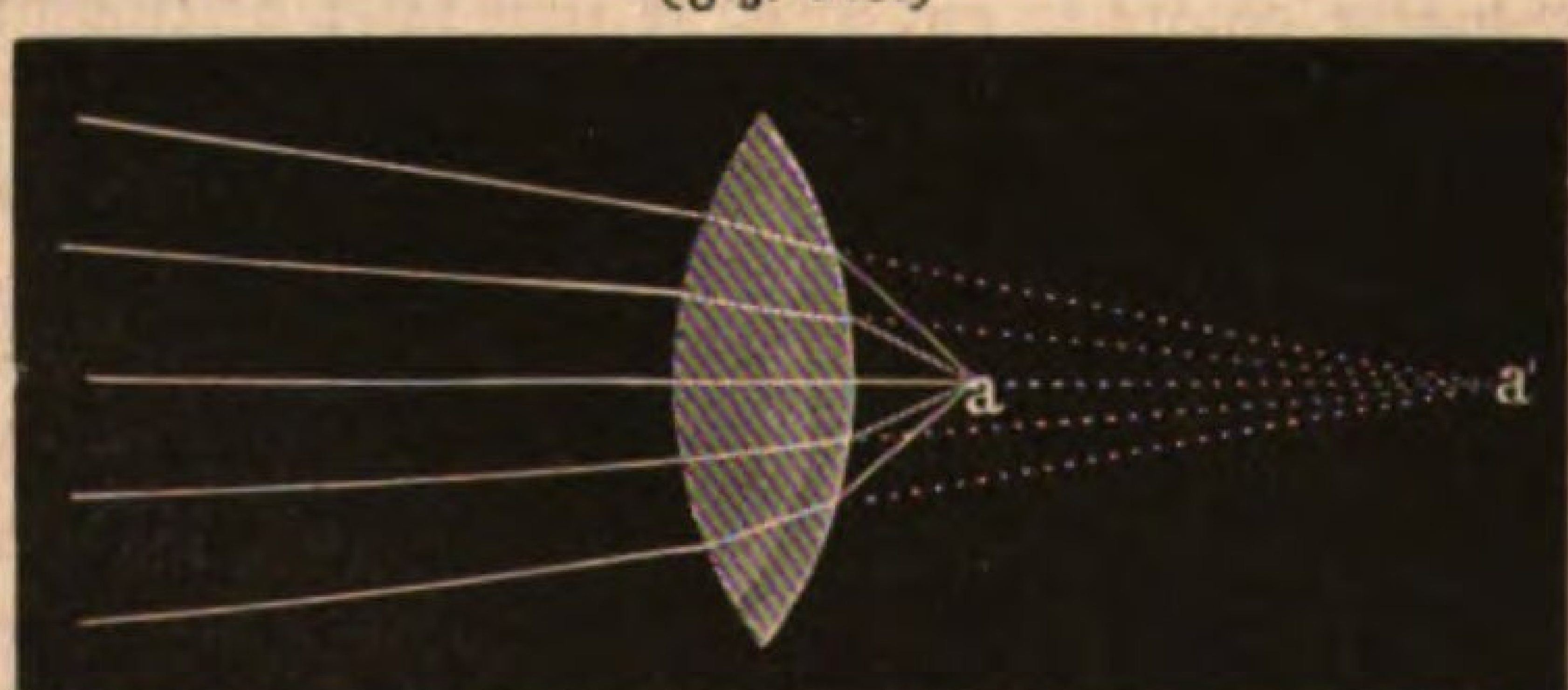


daß die auf denselben auffallenden Sonnenstrahlen in wagerechter Richtung in eine an der Innenseite des Ladens befestigte Röhre gelangen. Eine in dieser an der Seite nach dem Spiegel hin angebrachte größere Sammellinse vereinigt die eintretenden Strahlen in ihrem Brennpunkte, in welchem sich das Object, hier ein zwischen zwei dünnen Glasscheiben liegender Flügel einer Fliege, befindet. Von dem auf diese Art sehr stark erleuchteten Objecte erzeugt nun eine an der Seite nach dem Zimmer hin, in einer engeren Röhre befindliche kleine Linse, auf einem gegenüber aufgestellten Schirme ein vergrößertes Bild.

Das Sonnenmikroscop steht darin dem Knallgasmikroscope nach, daß man bei dem Gebrauche desselben von der Lage des Zimmers, von der Tageszeit und von den Witterungsverhältnissen abhängig ist.

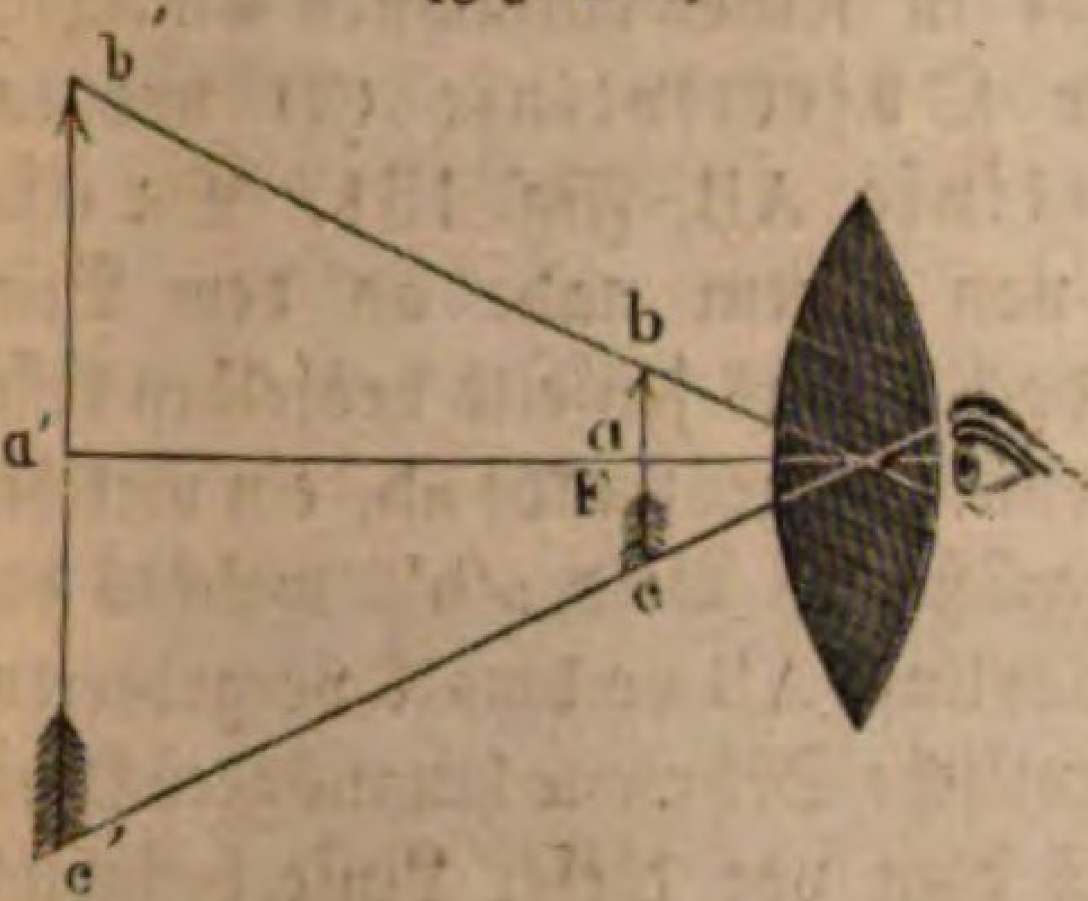
Wir haben bisher nur den Fall behandelt, daß der leuchtende Gegenstand sich außerhalb der Brennweite der Linse befindet. Tritt derselbe in den Brennpunkt, so kann kein Bild entstehen, weil die gebrochenen Strahlen parallel aus der Linse austreten. Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so fallen die von einem leuchtenden Punkte a, Fig. 128, ausgehenden Strahlen noch stärker divergent auf die Linse; dieselben bleiben daher auch nach der Brechung durch die Linse noch divergent, aber sie werden in ihrer Divergenz geschwächt. Sie treten aus der Linse so aus, als kämen sie von einem ferner liegenden

(Fig. 128.)



Punkte a', und ein an der andern Seite der Linse in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge erblickt daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a. Eben so treten die von den Endpunkten b und c, Fig. 129, eines innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstandes stark divergent auf die Linse fallenden Strahlen weniger divergent aus der Linse aus, gleich als wenn sie von ferner liegenden Punkten b' und c' ausge-

(Fig. 129.)

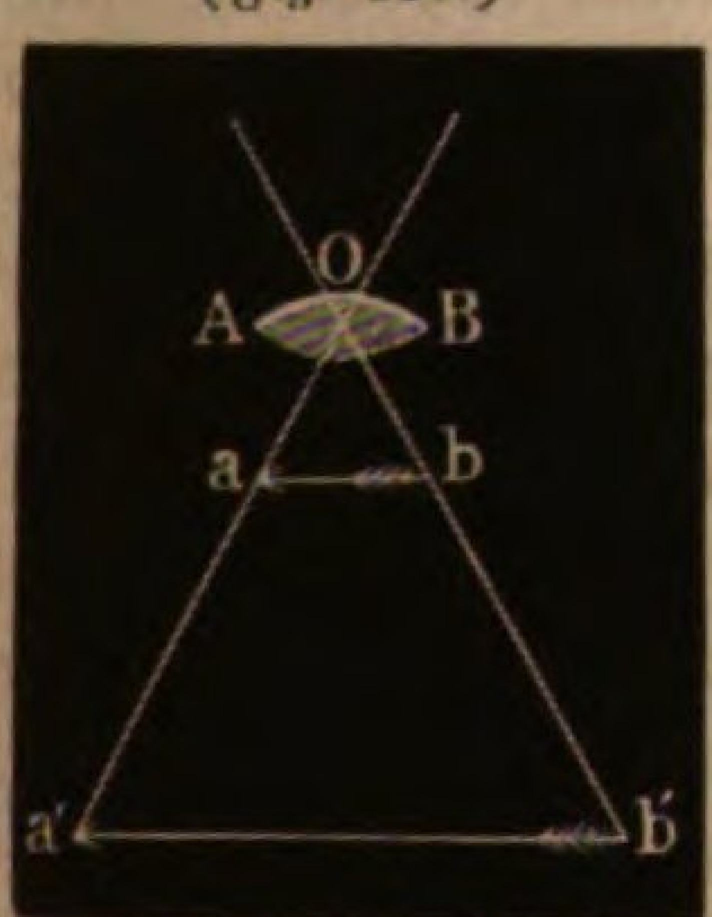


gangen wären. Ein an der andern Seite der Linse befindliches Auge erblickt daher statt der Punkte b und c Bilder derselben in den ferner liegenden Punkten b' und c' und sieht den ganzen Gegenstand nicht in bc, sondern in b'c' weiter hinaus gerückt, aufrecht und vergrößert.

Zur Bestätigung des eben Vorgetragenen kann Folgendes dienen: — Wenn man eine Sammellinse in einem geringen Abstande von einer Schrift hält, so sieht man die Buchstaben durch dieselbe vergrößert. In dem Panorama oder Guckkasten werden perspectivisch gezeichnete Bilder innerhalb der Brennweite, doch nahe am Brennpunkte einer Linse, welche mehrere Fuß Brennweite hat, aufgestellt; man sieht durch die Linse die Bilder weiter hinausgerückt und vergrößert. Den nützlichsten Gebrauch findet jedoch die Sammellinse als einfaches Mikroscop.

Wenn wir einen kleinen Gegenstand deutlich sehen wollen, müssen wir denselben dem Auge möglichst nahe bringen. Allein für jedes Auge giebt es eine gewisse Grenze, unter welche herab demselben ein Gegenstand überhaupt nicht genähert werden darf, wenn noch deutliches Sehen stattfinden soll. Diese Entfernung beträgt für gesunde Augen, welche der Brillen nicht bedürfen, etwa 8 bis 10 Zoll. Wenn das Auge O, Fig. 130, den Gegenstand a'b' nicht mehr deutlich zu sehen vermag, weil derselbe dem Auge zu nahe ist, so wird durch Einschaltung einer Sammellinse AB zwischen Gegenstand und Auge diesem Uebelstande abgeholfen werden können, indem das Auge jetzt statt des Gegenstandes ab dessen vergrößertes und entfernteres Bild a'b' erblickt. Das einfache Mikroscop

(Fig. 130.)



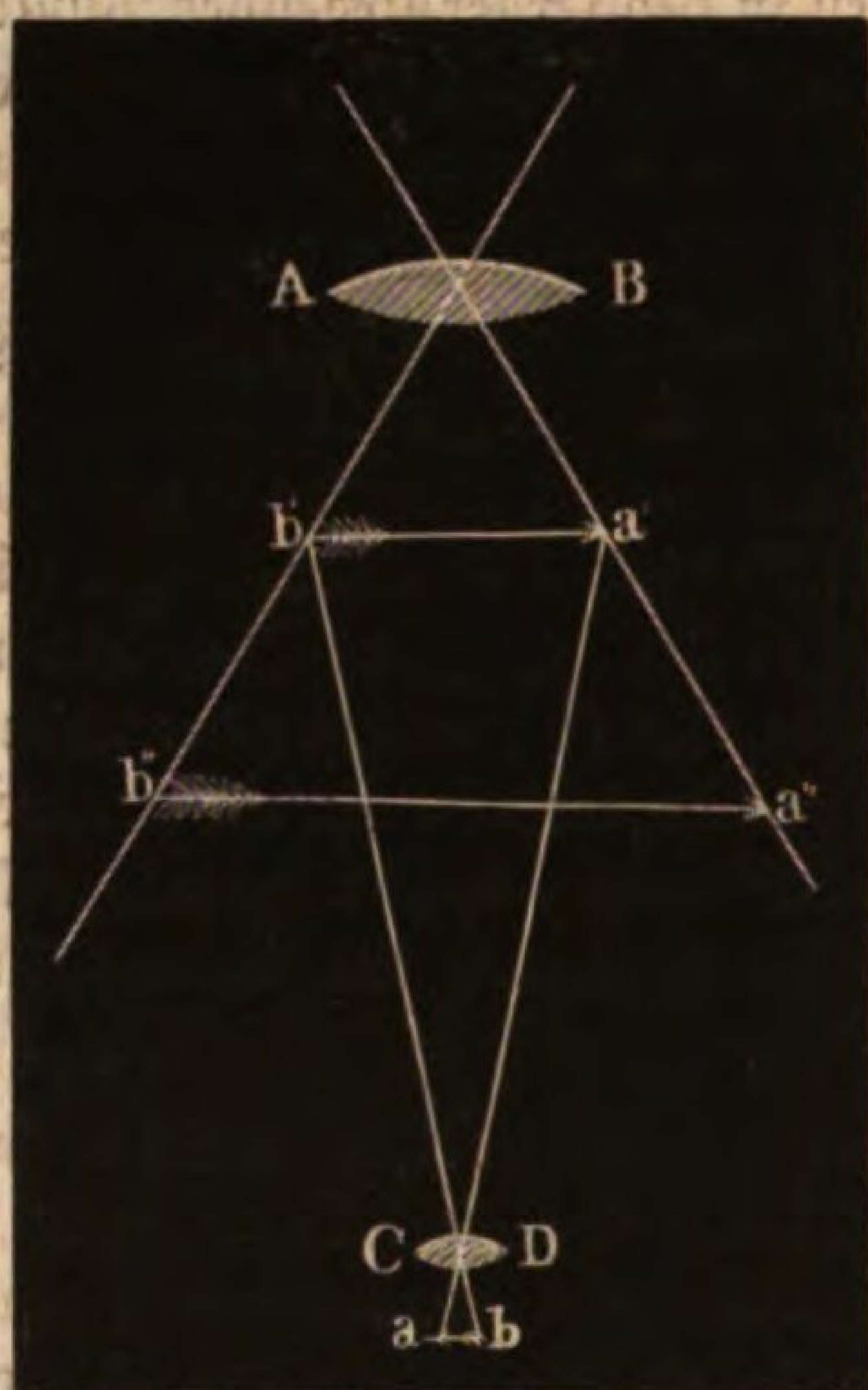
Soll die Linse stark vergrößern, so muß sie eine kurze Brennweite, also starke Krümmungen haben; sie wird daher selbst nur klein sein können und folglich nur wenig Licht durchlassen. Man muß deshalb, zumal mit der Vergrößerung die Lichtstärke abnimmt, für möglichst starke Erleuchtung des Gegenstandes sorgen. Man bewirkt diese gewöhnlich durch einen unter dem Gegenstande angebrachten Spiegel, welcher das Licht der Wolken auf denselben reflectirt. Allein auch so gewährt das einfache Mikroscop bei starker Vergrößerung nur schwaches Licht, und überdieß vermag man wegen der Kleinheit der Linse auch nur einen sehr kleinen Gegenstand oder nur einen sehr kleinen Theil eines Gegenstandes auf einmal zu übersehen. Das einfache Mikroscop leidet also bei starker Vergrößerung an Lichtschwäche und Kleinheit des Gesichtsfeldes.

In beiderlei Hinsicht wird dasselbe übertroffen durch das zusammengesetzte Mikroscop. Ehe wir zur Beschreibung dieses Instrumentes übergehen, bemerken wir nur noch in Beziehung auf das einfache Mikroscop, daß als Vergrößerungsgläser dienende Linsen, deren Brennweite mehr als einen halben Zoll beträgt, gewöhnlich nicht Mikroscope, sondern Lupen genannt werden.

Das zusammengesetzte Mikroscop

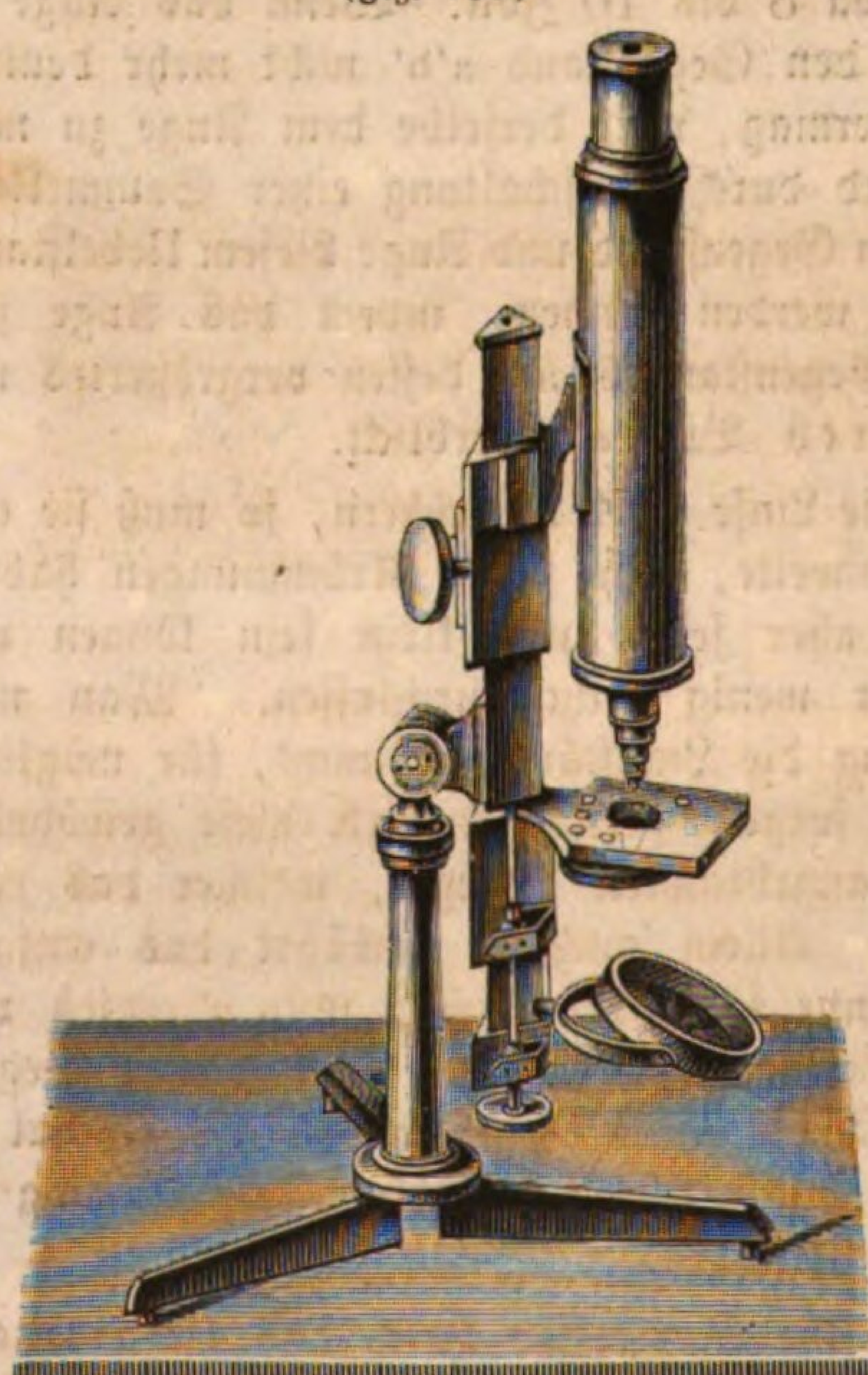
Das zusammengesetzte Mikroscop würde in seiner einfachsten Einrichtung nur aus zwei Sammellinsen bestehen, einer Objectivlinse CD und einer Ocularlinse AB, Fig. 131. Die erstere erzeugt von einem nahe an dem Brennpunkte, doch etwas jenseits desselben befindlichen kleinen Gegenstande ab, ein verkehrtes und vergrößertes Bild a′b′, welches durch die Ocularlinse AB nochmals vergrößert und in die deutliche Sehweite hinausgerückt wird, so daß es dem vor dieser Linse befindlichen Auge in a″b″ erscheint.

(Fig 131.)



Wie wir oben gesehen haben, werden durch eine Sammellinse die von einem Punkte ausgehenden Strahlen zwar ziemlich nahe, aber nicht ganz genau wieder in einem Punkte vereinigt. Nur die nahe an der Mitte auffallenden Strahlen vereinigen sich fast genau in demselben Punkte; dieß gilt dagegen um so weniger, je näher nach dem Rande hin die Strahlen die Linse treffen. Da hiernach die Randstrahlen die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigen, so pflegt man in der Röhre, an deren Enden sich einerseits die Objectiv-, andererseits die Ocularlinse befindet, an der Stelle, an welcher das von ersterer erzeugte Bild entsteht, zur Abhaltung der störenden Randstrahlen eine sogenannte Blendung, d. h. einen in der Mitte mit einer Oeffnung versehenen Schirm, welcher nur die mittleren Strahlen hindurchläßt, anzubringen.

(Fig. 132.)



Außerdem wird noch zwischen dem Objectiv- und Ocularglase eine Sammellinse angebracht, welche den Namen Collectivglas führt und die Bestimmung hat, die durch das Objectiv gebrochenen Strahlen genauer in einem Punkte zusammenzubringen. Endlich bemerken wir noch, daß nach dem oben über die Verbindung zweier Linsen Gesagten das Ocular auch aus zwei und eben so das Objectiv aus zwei oder mehr Linsen zusammengesetzt sein kann. Fig. 132 stellt ein zusamsetztes Mikroscop nach seiner äußeren Einrichtung dar.

Gute Mikroscope gewähren eine 500- bis 1000malige Vergrößerung. Uebrigens ist nicht unbedingt dasjenige Mikroscop das vorzüglichste, welches

am stärksten vergrößert, sondern dasjenige, durch welches man sehr kleine Gegenstände am deutlichsten sieht.

Große Aehnlichkeit mit dem zusammengesetzten Mikroscope hat das astronomische Fernrohr. Dasselbe besteht nehmlich ebenfalls aus einer Objectivlinse CD und einer Ocularlinse AB, Fig. 133. Das durch erstere Das Fernrohr.

(Fig. 133.)

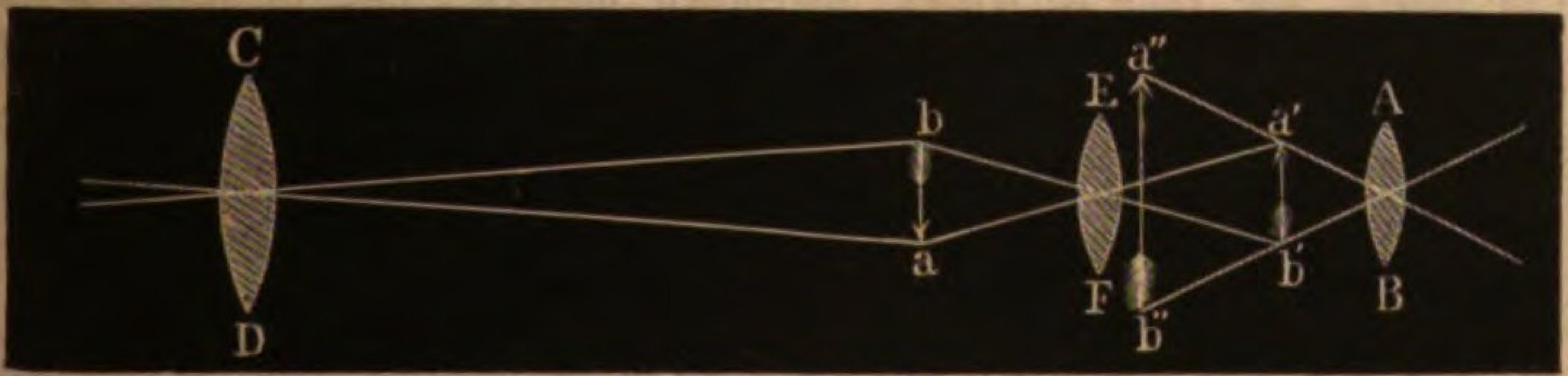


von einem fernen Gegenstande erzeugte umgekehrte Bild a′b′ wird durch die Ocularlinse in die deutliche Sehweite nach a″b″ hinausgerückt und vergrößert. Außer diesen beiden Linsen ist noch, wie beim zusammengesetzten Mikroscope, zwischen denselben eine Collectivlinse und zur Abhaltung der durch das Objectiv gegangenen Randstrahlen eine Blendung angebracht.

Das astronomische Fernrohr übertrifft eben wegen der Einfachheit seiner Construction in der Schärfe und Reinheit der Bilder das gleich zu beschreibende Erdfernrohr; aber es eignet sich, da es die Gegenstände verkehrt zeigt, weniger zu gewöhnlichen Beobachtungen auf der Erde.

Bei dem Erdfernrohre ist zwischen der Objectivlinse CD, Fig. 134, und der Ocularlinse AB noch eine Linse EF angebracht, welche das von

(Fig. 134.)



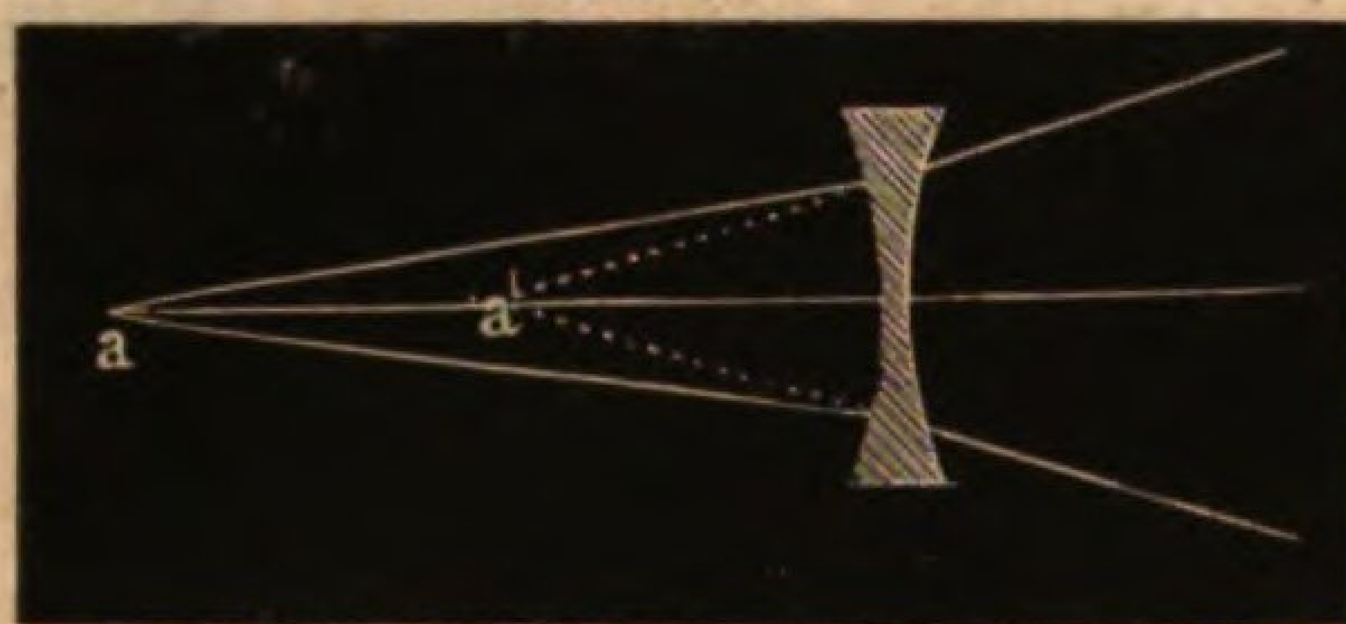
ersterer erzeugte umgekehrte Bild ab abermals umkehrt, also wieder aufrichtet. Dieses aufrechte Bild a′b′ wird dann durch die Ocularlinse für das vor derselben befindliche Auge in die Lage a″b″ hinausgerückt.

Gewöhnlich wird die Umkehrung des von dem Objective erzeugten Bildes ab nicht durch eine einzige Linse EF, sondern durch zwei Linsen bewirkt; fügen wir nun noch zwischen diesen und der vordersten Ocularlinse AB eine Collectivlinse hinzu, so erhalten wir überhaupt für das Ocular vier Linsen, welches die gebräuchlichste Einrichtung der Erdfernröhre ist.

Es giebt aber auch Fernröhre, welche die Gegenstände aufrecht zeigen, und bei denen das Ocular aus einer einzigen Linse, nehmlich aus einer Zerstreuungslinse besteht. Dieß ist z. B. bei den sogenannten Operngucker n der Fall, welche sich für den bequemen Gebrauch durch ihre Kürze empfehlen, aber in der Regel nur eine schwache Vergrößerung gewähren. Ehe wir indeß die Einrichtung derselben erklären können, haben wir noch vorher die Brechung, welche die Lichtstrahlen in Zerstreuungslinsen erleiden, zu erörtern. Denn wir haben bisher nur von der Sammellinse gehandelt, welche auch eine weit mannigfaltigere Anwendung, als die Zerstreuungslinse, findet.

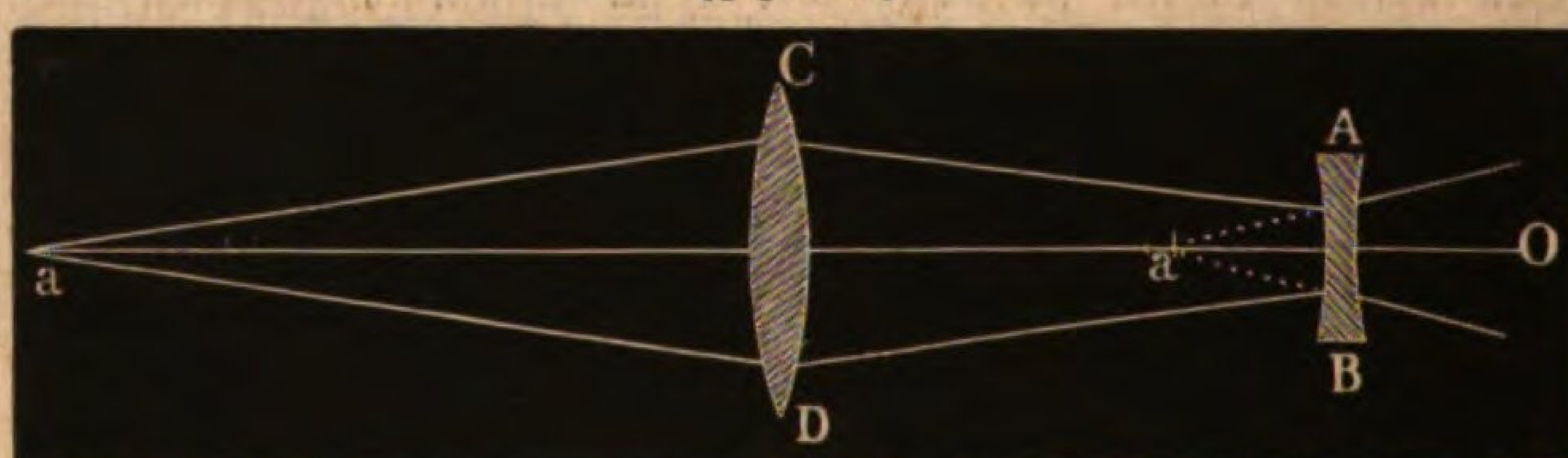
Während die Sammellinse parallele Strahlen convergent macht, treten aus der Zerstreuungslinse mit der Axe parallel einfallende Strahlen divergent aus, und divergent auffallende Strahlen werden durch dieselbe noch stärker divergent. Befindet sich daher vor derselben ein leuchtender Punkt a, Fig. 135, so werden die von demselben auf die Linse fallenden Strahlen so gebrochen, als wenn sie von einem derselben näher liegenden Punkte a′ ausgegangen wären, und ein in der Richtung dieser Strahlen befindliches Auge erblickt daher in a′ ein Bild des leuchtenden Punktes a.

(Fig. 135.)



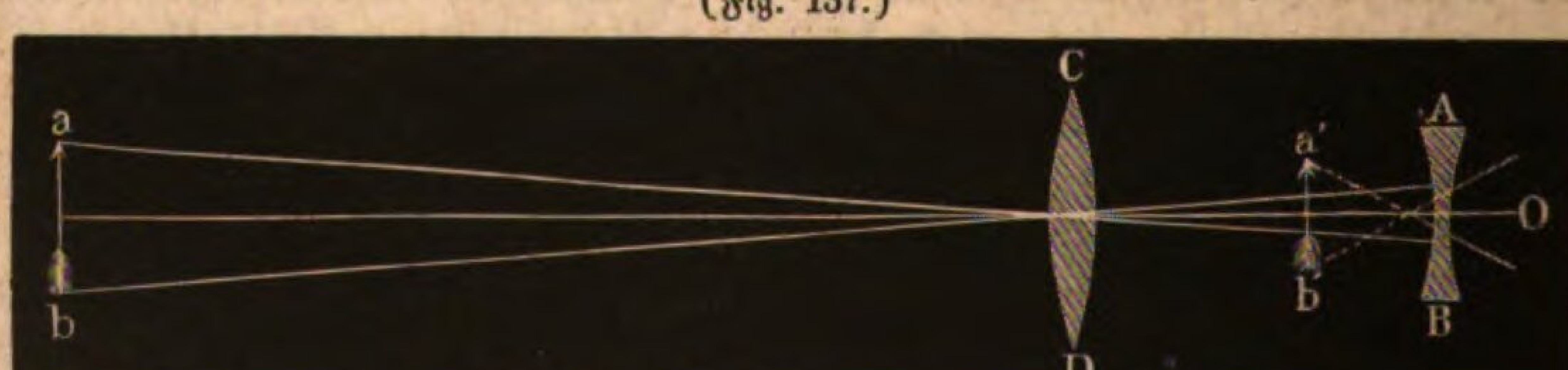
Wenn eine Sammellinse CD und eine Zerstreuungslinse AB, so mit einander verbunden werden, wie dieß Fig. 136 zeigt, so können die Licht-

(Fig. 136.)



strahlen, welche von einem entfernten, leuchtenden Punkte a auf die Sammellinse CD fallen und von derselben gebrochen werden, mit so schwacher Convergenz auf die Zerstreuungslinse AB fallen, daß sie in Folge der Brechung durch diese Linse divergirend aus derselben austreten und ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen sich in einem vor dieser Linse liegenden Punkte a′ durchschneiden. Ein an der andern Seite der Linse AB in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge wird daher in a′ ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken, und eben so wird sich von einem ganzen

(Fig. 137.)



Gegenstande ab, Fig. 137, einem vor dem concaven Oculare befindlichen Auge ein aufrechtes Bild a′b′ zeigen.

Das so eben beschriebene Fernrohr ist zuerst in Holland ums Jahr 1600 und bald darauf von Galilei, welcher hiervon eine Nachricht erhalten hatte, erfunden worden. Ein von diesem verfertigtes Fernrohr gewährte eine 33malige Vergrößerung und ließ ihn die vier Monde des Jupiters, den Ring des Saturn und Flecken in der Sonne entdecken. Die Einrichtung des astronomischen Fernrohrs aber ist 1611 von Keppler angegeben worden.

Bis zum Jahre 1755 erlitten die Leistungen der Fernröhre eine nicht wohl zu beseitigende Beschränkung durch den Umstand, daß mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist. Sollen die durch das Objectiv eines Fernrohrs erzeugten Bilder die erforderliche Deutlichkeit besitzen, so müssen die von einem Punkte ausgehenden und auf das Objectiv fallenden Strahlen nach der Brechung durch dasselbe wieder in einen Punkt vereinigt werden. Die Erfüllung dieser Bedingung erscheint um so unerläßlicher, da die Bilder noch durch das Ocular, als Vergrößerungsglas, betrachtet werden, also jeder Fehler derselben sich im vergrößerten Maaße zeigt. Indem aber die das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, die violetten am stärksten, die rothen am schwächsten gebrochen werden, ist es ganz unmöglich, daß diese Strahlen nach der Brechung durch eine Linse sich sämmtlich in einem Punkte vereinigen; der Vereinigungspunkt der violetten, als der am stärksten brechbaren Strahlen, wird offenbar am nächsten, der Vereinigungspunkt der am schwächsten brechbaren, rothen Strahlen aber am fernsten von der Linse zu liegen kommen. Achromatismus.

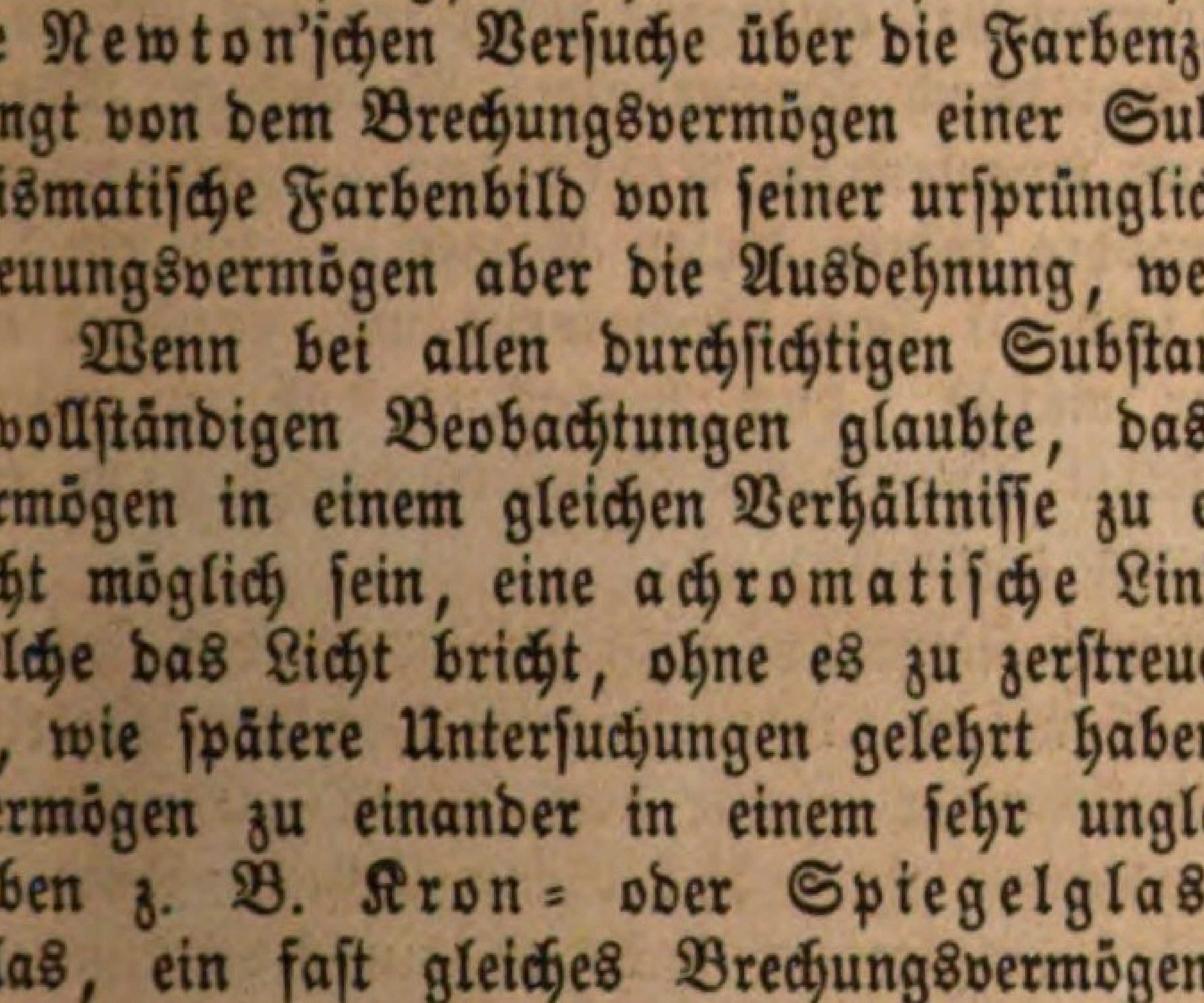
Wenn wir zu einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse hinzufügen, so wird durch diese Combination, da beide Linsen auf die Lichtstrahlen im entgegengesetzten Sinne wirken, die Farbenzerstreuung, aber auch zugleich die Brechung vermindert werden, und wenn beide Linsen aus der nehmlichen Substanz bestehen, so wird erst dann, wenn beide gleich starke entgegengesetzte Krümmungen besitzen, die Farbenzerstreuung, aber zugleich auch die Brechung, also überhaupt die beabsichtigte Wirkung, aufgehoben sein.

An jeder durchsichtigen Substanz haben wir das Brechungsvermögen und das Dispersionsvermögen zu unterscheiden. Dieses letztere Vermögen bezieht sich auf die Ungleichheit der Brechung, welche die violetten, und der Brechung, welche die rothen Strahlen erleiden. Wenn wir uns an die Newton'schen Versuche über die Farbenzerstreuung (S. 106) erinnern, so hängt von dem Brechungsvermögen einer Substanz die Ablenkung, welche das prismatische Farbenbild von seiner ursprünglichen Stelle erfährt, von dem Zerstreuungsvermögen aber die Ausdehnung, welche es in die Länge erleidet, ab.

Wenn bei allen durchsichtigen Substanzen, wie man nach den ältern unvollständigen Beobachtungen glaubte, das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen in einem gleichen Verhältnisse zu einander stände, so würde es gar nicht möglich sein, eine achromatische Linse herzustellen, d. h. eine Linse, welche das Licht bricht, ohne es zu zerstreuen. Glücklicher Weise aber giebt es, wie spätere Untersuchungen gelehrt haben, Substanzen, bei denen beide Vermögen zu einander in einem sehr ungleichen Verhältnisse stehen. So haben z. B. Kron- oder Spiegelglas und Flintglas, bleihaltiges Glas, ein fast gleiches Brechungsvermögen; das letztere aber zerstreut die Farben in einem viel stärkeren Verhältnisse.

Mit Benutzung dieses glücklichen Umstandes ist es zuerst dem Engländer Dollond 1755 gelungen, eine achromatische Linse herzustellen. Ist nehmlich K, Fig. 138, eine Sammellinse von Kronglas, welche für sich allein die auf dieselbe fallenden rothen Strahlen in r, die violetten in v vereinigen würde, so wird durch Hinzufügung einer

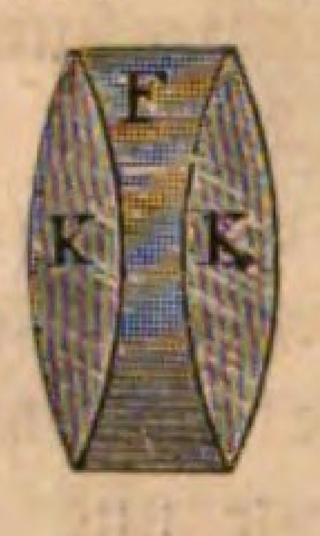
(Fig. 138.)



Zerstreuungslinse F sowohl der Vereinigungspunkt der einen, als der anderen Strahlen weiter hinausgerückt werden, diese Fortschiebung aber für die stärker brechbaren violetten Strahlen mehr, als für die schwächer brechbaren rothen betragen. Bei einem richtigen Krümmungsverhältnisse beider Linsen wird es daher geschehen können, daß diese Vereinigungspunkte in den nehmlichen Punkt w zusammenfallen, und daß folglich hier wieder weißes Licht entsteht.

Wenn Flintglas mit dem Kronglase gleiches Zerstreuungsvermögen besäße, so würde dieses erst dann eintreten, wenn die Flintglaslinse eben so starke concave Krümmungen hätte, als die Kronglaslinse convexe Krümmungen besitzt. Da aber das Flintglas das Licht viel stärker, als Kronglas zerstreut, so wird, um die Farbenzerstreuung aufzuheben, die concave Flintglaslinse beträchtlich schwächere Krümmungen, als die convexe Kronglaslinse haben müssen. Da aber beide Glasarten das Licht ziemlich gleich stark brechen, so wird durch die schwächer gekrümmte concave Flintglaslinse die durch die stärker gekrümmte convexe Kronglaslinse bewirkte Brechung zwar vermindert, aber nicht aufgehoben sein. Wir erhalten also durch die Combination der schwächer gekrümmten concaven Flintglaslinse mit der stärker gekrümmten convexen Kronglaslinse eine das Licht brechende, aber nicht zerstreuende Linse.

(Fig. 139.)



Man begreift leicht, daß der beabsichtigte Zweck sich nicht bloß durch die angegebene, sondern auch durch andere Combinationen, z. B. durch die Combination zweier convexen Kronglaslinsen, mit einer concaven Flintglaslinse, wie dies Fig. 139 zeigt, erreichen läßt.

Mit Benutzung von Dollond's Erfindung sind besonders durch Frauenhofer und Utzschneider die Fernröhre ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit entgegengeführt worden. Der in dem optischen Institute bei München durch Frauenhofers Nachfolger, Merz, für die Sternwarte bei Petersburg angefertigte Refractor — größere nur aus Linsen zusammengesetzte Fernröhre führen diesen Namen — hat ein Objectiv von 14 Zoll Durchmesser und 21 Fuß Brennweite und gewährt eine 2000malige Vergrößerung. Wir müssen jedoch bemerken, daß in unseren Klimaten die Atmosphäre nur selten eine solche Reinheit besitzt, um eine mehr als 1000malige Vergrößerung zuzulassen.

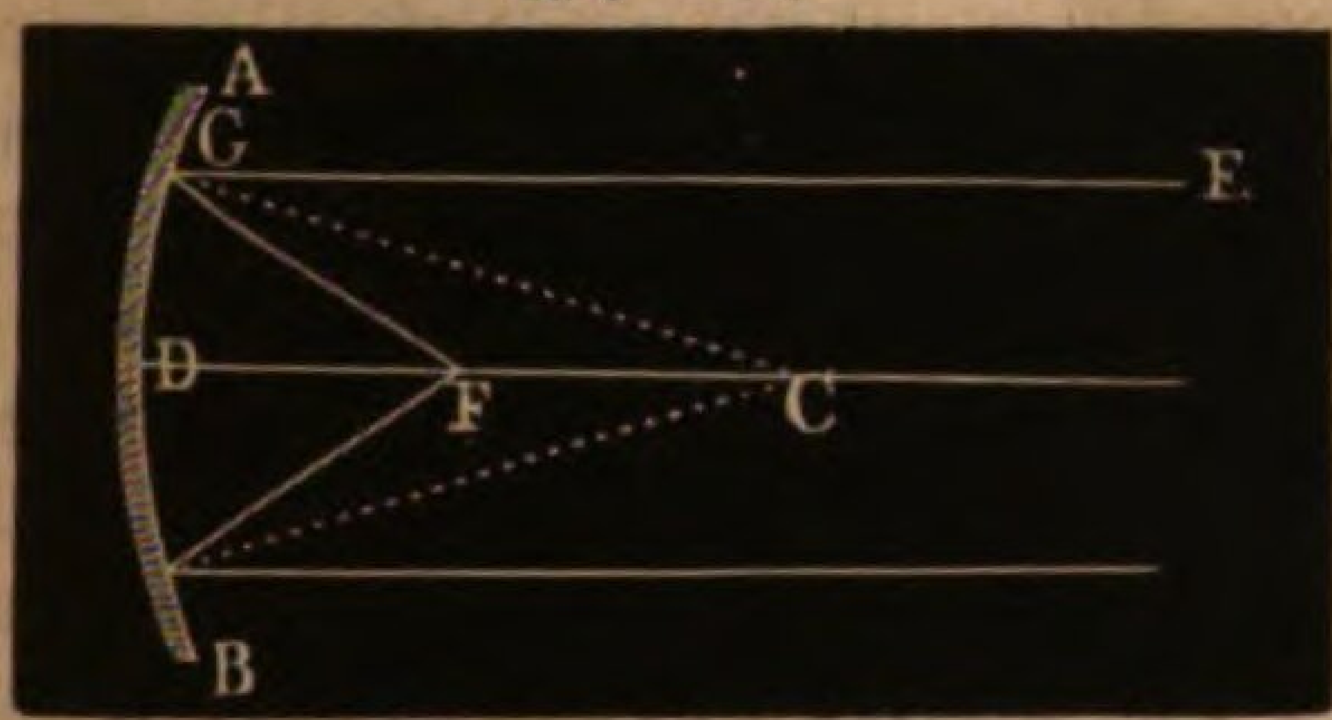
Der Ausführung noch größerer Fernröhre steht besonders die Schwierigkeit entgegen, vollkommen gleichförmige, von allen Wolken und Streifen gänzlich freie Glasmassen von hinreichender Größe herzustellen. Größere geschmolzene Massen erfordern natürlich zu ihrer Abkühlung längere Zeit; geschmolzenes Glas nimmt aber bei langsamem Erkalten ein krystallinisches Gefüge an, wodurch seine Fähigkeit, dem Lichte nach allen Richtungen einen gleichen Durchgang zu gestatten, beeinträchtigt wird.

Der Hohlspiegel. Vor Dollond's Entdeckung ließen die Fernröhre wegen der durch das Objectiv bewirkten Farbenzerstreuung nur eine schwache Vergrößerung zu. Diesen Mangel zu beseitigen, wendete man statt der Sammellinsen Hohlspiegel als Objective an, indem ein Hohlspiegel, eben so wie eine Sammellinse, von einem fernen Gegenstande ein verkleinertes und verkehrtes, aber von der Farbenzerstreuung natürlich gänzlich freies Bild erzeugt. Da Hohlspiegel jedoch eine weit seltenere Anwendung finden, so werden unsere Leser wahrscheinlich nicht erwarten, daß wir dieselben mit der nehmlichen Aus-

führlichkeit, wie die Sammellinse, behandeln. Wir beschränken uns daher auf folgende Andeutungen.

Wenn auf einen Hohlspiegel AB, Fig. 140, ein Lichtstrahl EG parallel mit der Axe CD auffällt, und wir verbinden den Punkt G, in welchem derselbe den Spiegel trifft, mit dem Mittelpunkte C, so stellt der Radius CG, da er auf der durch G an den Kreisbogen zuziehenden Tangente senkrecht steht, das Einfallsloth vor. Wenn wir daher Winkel FGC gleich EGC machen, so ist GF der zurückgeworfene Strahl. Der mit der Axe parallel einfallende Strahl EG wird also von dem Spiegel so zurückgeworfen, daß er die Axe in einem Punkte F durchschneidet. Eben so durchschneiden auch alle anderen mit der Axe parallel und in nicht zu großem Abstande von derselben auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen nach der Zurückwerfung die Axe, wenn auch nicht genau, doch sehr nahe in dem nehmlichen Punkte F, welcher der **Brennpunkt** des Spiegels genannt wird.

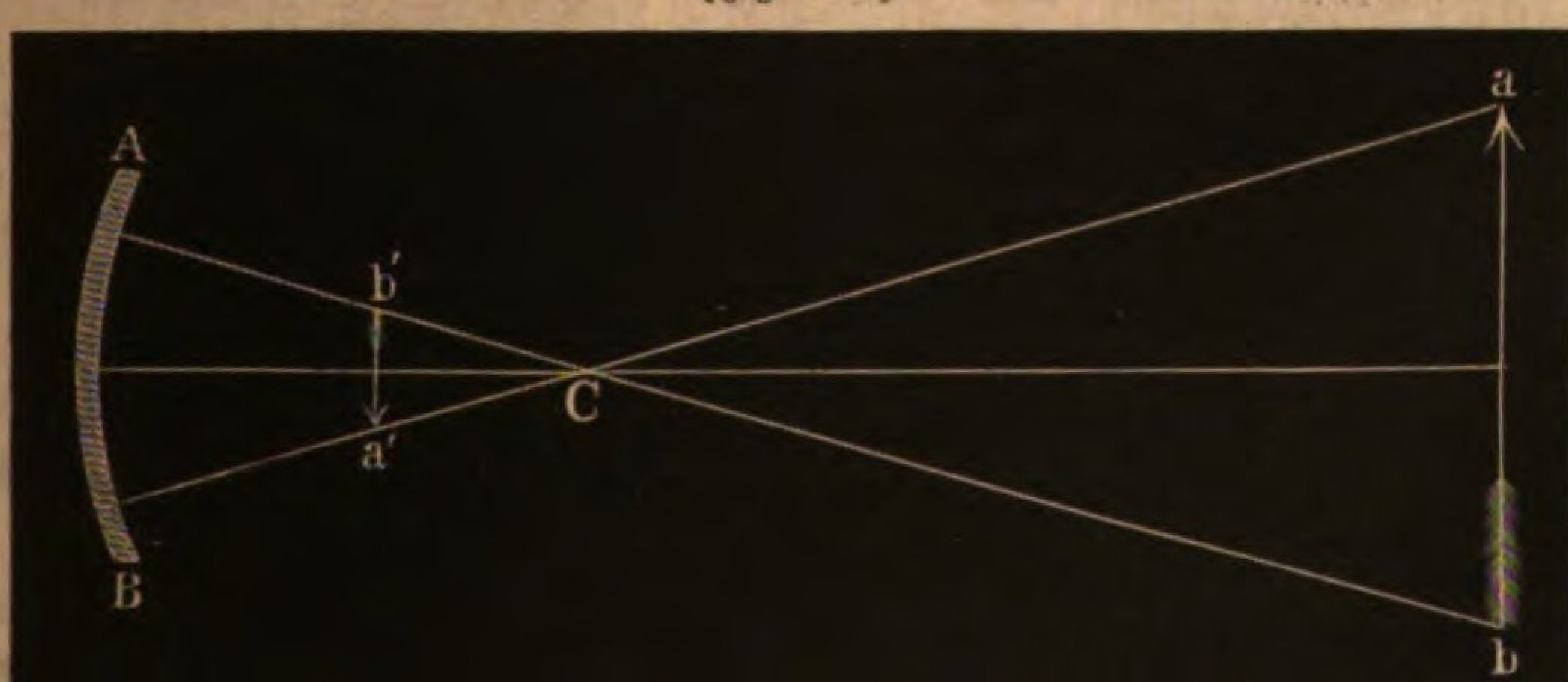
(Fig. 140.)



Der Hohlspiegel macht also durch Reflexion, eben so wie die Sammellinse durch Brechung, parallel mit der Axe auffallende Strahlen convergent, so daß dieselben die Axe in einem Punkte, dem Brennpunkte, durchschneiden, und umgekehrt werden, wenn im Brennpunkte F sich ein leuchtender Punkt befindet, die von demselben auf den Spiegel (oder die Linse) fallenden divergenten Strahlen durch die Zurückwerfung (oder Brechung) zur Axe parallel. Wenn aber Strahlen von einem ferneren Punkte, also mit schwächerer Divergenz auf den Spiegel oder die Linse fallen, so werden dieselben eben so durch die Zurückwerfung von dem Spiegel **convergent**, als dies bei der Brechung durch die Linse der Fall ist.

Von einem fernen Gegenstande ab, Fig. 141, giebt daher der Hohlspiegel, eben so wie die Sammellinse, ein umgekehrtes und verkleinertes Bild in der Nähe des Brennpunktes.

(Fig. 141.)

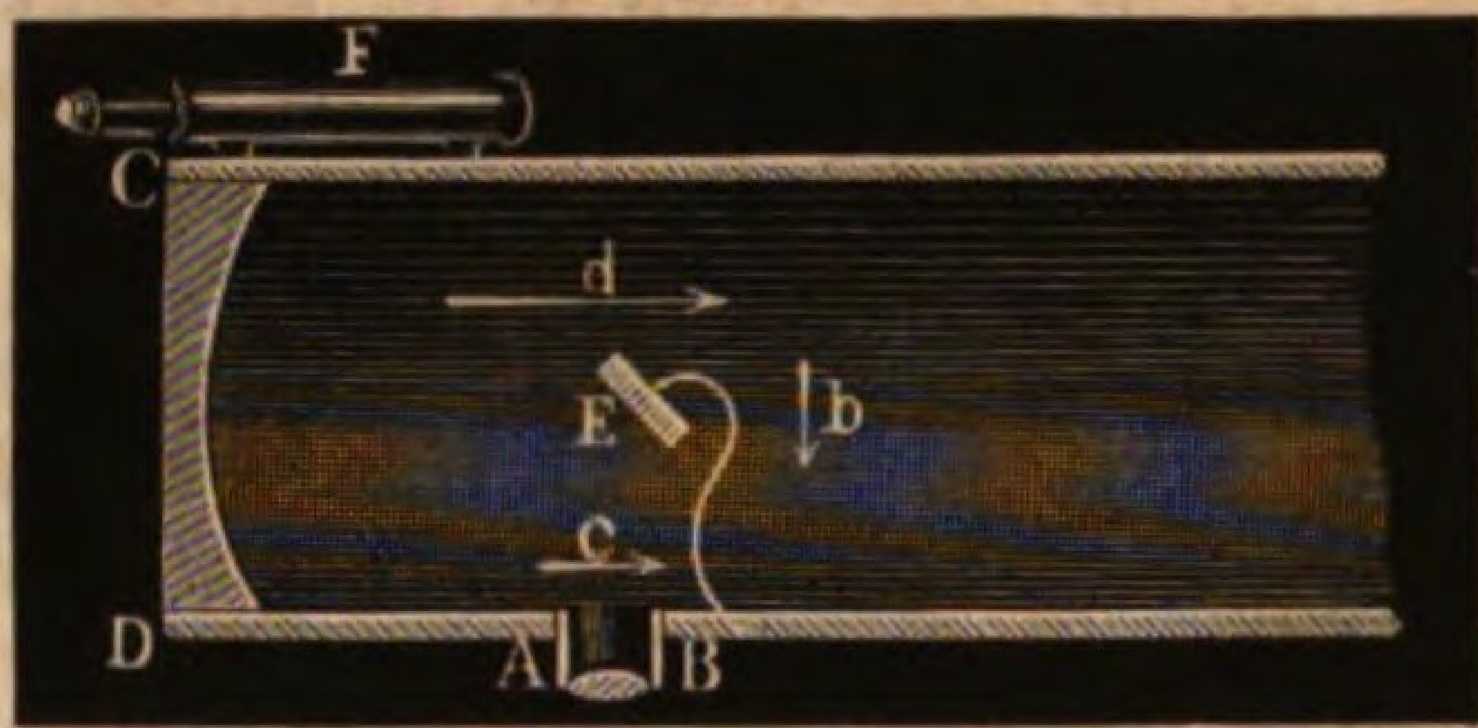


Vermöge dieser Eigenschaft läßt sich auch die Sammellinse als Objectiv im Fernrohre durch einen Hohlspiegel ersetzen. Fernröhre, bei denen dieses der Fall ist, werden gewöhnlich **Telescope** oder **Reflectoren** genannt. Eine der gebräuchlichsten Einrichtungen ist die des Spiegeltelescopes von

Das Spiegeltelescop.

Newton. Die von einem fernen Gegenstande auf den Hohlspiegel CD, Fig. 142, fallenden Strahlen werden von demselben so zurückgeworfen, daß sie in der Nähe des Brennpunktes ein verkehrtes Bild b erzeugen würden; ehe sie sich jedoch zu diesem vereinigen, treffen sie auf den unter 45^0 gegen die Axe des Instrumentes geneigten Planspiegel E, von welchem die convergent auffallenden Strahlen convergent zurückgeworfen werden, wie wir Aehnliches schon bei der Camera obscura (S. 124) besprochen haben, so daß dieses Bild nicht hinter, sondern vor den Spiegel nach c hinfällt, wo es durch eine in der Seitenwand des Telescopes angebrachte Ocularlinse für das vor derselben befindliche Auge in die deutliche Sehweite nach d hinaus gerückt und vergrößert wird.

(Fig. 142.)



Da man bei diesen Instrumenten seitwärts hineinsieht, so würde es schwierig sein, dasselbe auf einen bestimmten Gegenstand zu richten. Zu diesem Zwecke ist mit demselben ein gewöhnliches, aber kleineres Fernrohr F verbunden, dessen Axe der Axe des Telescopes parallel ist, so daß ein ferner Gegenstand, z. B. ein Stern, zugleich in dem Telescope erscheint, wenn das Fernrohr auf denselben gerichtet ist.

Spiegeltelescope werden bei astronomischen Beobachtungen besonders dann angewendet, wenn man eine sehr starke Vergrößerung und eine bedeutende Lichtstärke zu erhalten beabsichtigt. Berühmt sind insbesondere die Beobachtungen, welche der ältere Herschel in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts mit einem Spiegeltelescope von der oben angegebenen Errichtung angestellt hat. Der Spiegel dieses Instruments hatte $1^1/_2$ Fuß Durchmesser und 20 Fuß Brennweite. Die stärkste Vergrößerung betrug 2000. Bei dem größten von Herschel ausgeführten Instrumente, welches eine etwas andere Einrichtung hatte und eine fast 7000malige Vergrößerung zuließ, verlor der Spiegel, indem er sich in einer kühlen Nacht mit Dunst überzog und oxydirte, sehr bald seine Brauchbarkeit. Ueberhaupt ist der Gebrauch der Spiegeltelescope, da Metallspiegel leicht ihre Politur verlieren, — Glasspiegel sind wegen der doppelten Bilder, welche sie geben, ganz unzulässig, — ein viel beschränkterer, als der der Refraktoren.

Herschel entdeckte durch sein Instrument unter anderen den Planeten Uranus nebst seinen Trabanten und die beiden Trabanten des Saturn, welche demselben am nächsten und daher am schwierigsten zu beobachten sind.

In neuerer Zeit hat Lord Rosse bei Dublin ein Telescop aufgestellt, dessen Spiegel 6 (englische) Fuß Durchmesser und über 50 Fuß Brennweite hat. In demselben zeigen sich viele Nebelflecke, welche bisher kein anderes Fernrohr aufzulösen vermochte, als Haufen einzelner Sterne.

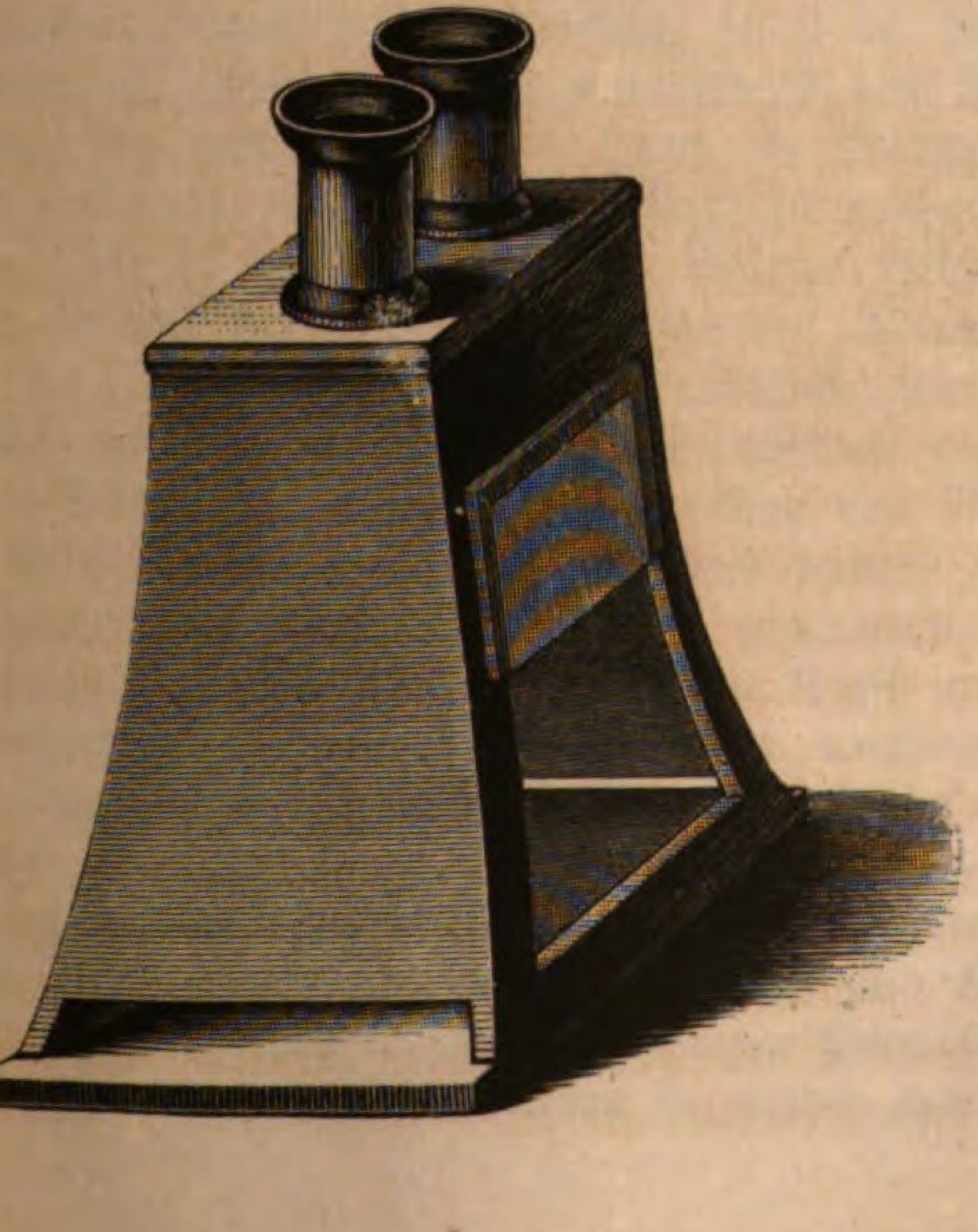
Das Stereoscop. Nachdem wir unseren Lesern die wichtigsten und nützlichsten optischen Instrumente vorgeführt haben, erwähnen wir noch kurz eines anderen optischen Instrumentes, welches gegenwärtig noch den Reiz der Neuheit hat und auch wirklich recht überraschende Wirkungen gewährt. Wir meinen das ums Jahr 1838 von Wheatstone erfundene Stereoscop.

Die Theorie dieses Instrumentes ist im Wesentlichen folgende: Wenn wir einen in unserer Nähe befindlichen körperlichen Gegenstand abwechselnd mit dem einen und dem anderen Auge betrachten, so muß der Anblick desselben sich für das eine und das andere Auge etwas verschieden gestalten. Halten wir z. B. einen Kegel dem Gesichte so gegenüber, daß die Spitze desselben gegen die Spitze der Nase gerichtet ist und die Grundfläche des Kegels der Linie, welche die beiden Augen verbindet, parallel ist, so erscheint, wenn wir den Kegel mit dem rechten Auge betrachten, die Spitze etwas links von der Mitte der Grundfläche; sie zeigt sich dagegen rechts, wenn wir den Kegel mit dem linken Auge ansehen, indem wir das rechte schließen.

Wenn wir daher einen nahen Gegenstand abzeichnen, so muß die Zeichnung verschieden ausfallen, je nachdem wir sie für das eine oder andere Auge entwerfen. Es ist gar nicht möglich, *eine* für beide Augen passende Zeichnung auszuführen. Es läßt sich daher auch durch eine in einer Ebene sich ausbreitende Zeichnung niemals der vollständige Eindruck des Körperlichen hervorbringen, welchen wir erhalten, wenn wir einen wirklichen Körper mit beiden Augen zugleich betrachten, da die Zeichnung, wenn sie für das eine Auge richtig entworfen ist, nicht auch zugleich für das andere paßt. Soll die Täuschung der Augen eine möglichst vollständige sein, soll der Eindruck möglichst demjenigen entsprechen, welchen der Anblick eines wirklichen Körpers gewährt, so sind hierzu zwei Zeichnungen erforderlich, von denen die eine für das rechte, die andere für das linke Auge entworfen ist, und welche in angemessener Lage gleichzeitig mit beiden Augen, aber jede nur mit dem Auge, welchem sie entspricht, betrachtet werden, und in der That ahmt dieser Anblick in höchst täuschender Weise den eines wirklich körperlichen Gegenstandes nach.

Auf diesen Prinzipien nun beruht das Stereoscop, welches, wie schon oben bemerkt, von *Wheatstone* zuerst erfunden worden ist, durch *Brewster* aber die folgende, für den Gebrauch besonders bequeme Einrichtung erhalten hat:

(Fig. 143.)



In dem oberen Boden eines kleinen, nur wenige Zoll hohen Kastens, Fig. 143, sind zwei Röhren angebracht, welche einander etwas genähert und von einander entfernt werden können, um sie gerade dem gegenseitigen Abstande der Augen anzupassen. In diesen Röhren befinden sich die beiden Hälften einer in der Mitte durchschnittenen und dann an den Rändern wieder rund ge-

(Fig. 144.)

a b



schliffenen Sammellinse, wie dieses Fig. 144 a und b zeigt. Diese beiden Linsen dienen dazu, jedes der beiden auf dem unteren Boden des Kastens auszubreitenden Bilder in die passende Lage und Entfernung für das entsprechende Auge zu bringen. Zur Erleuchtung aber dieser Bilder ist an der gegen das Licht zu wendenden Seite des Kastens eine Klappe angebracht, welche sich emporschlagen läßt.

IX.

Die Wärme.

Dem Lichte verdanken wir vorzugsweise die Kenntniß der uns umgebenden Körperwelt; die Einflüsse aber, welche es auf diese Körper selbst ausübt, besonders auf diejenigen, welche der anorganischen Natur angehören, sind, so viel uns hierüber bekannt, nur gering. Von der Wärme dagegen, mit welcher wir uns jetzt beschäftigen wollen, hängen wesentlich die verschiedenen Formen ab, unter denen die Naturkörper sich uns zeigen. Die Wärme ist die unerläßlichste Bedingung alles Lebens in der organischen Natur, und eben so bewirkt sie in der anorganischen Natur die großartigsten und mannigfaltigsten Veränderungen. Sie ist die Hauptursache der Erschütterungen der festen Erdrinde und der Ausbrüche feuerspeiender Berge, sie giebt den Gewässern die freie Beweglichkeit und legt wiederum denselben unlösbare Fesseln an, sie ruft besonders in dem auf der Oberfläche der Erde liegenden Luftmeere die häufigsten Wechsel der mannigfaltigsten Erscheinungen, Winde und Wolken, Regen, Schnee und Hagel hervor. In der That, wir kennen keine andere Naturkraft, welche so vielfache und großartige Wirkungen erzeugt, welche auf die gesammte Natur, die organische, wie die anorganische, einen so wesentlichen Einfluß ausübt und so gewaltige Umwälzungen hervorbringt. Wirkungen der Wärme.

Während einerseits die Wärme über die ganze Natur mit einer unwiderstehlichen Gewalt herrscht, welcher selbst der Mensch mehr oder weniger unterworfen ist, gewährt dieselbe andererseits dem Menschen, in seinen Dienst genommen, den reichsten Nutzen. Durch die Wärme werden rohe Nahrungsstoffe in genießbare Speisen, spröde Erze in geschmeidige Metalle umgewandelt; ja, seit es gelungen ist, die Wärme selbst in Kraft umzuwandeln, verrichtet sie die schwersten Arbeiten für den Menschen und setzt ihn in den Stand, für seine eigene Kraft unüberwindliche Hindernisse zu besiegen.

Wenn von der Anwendung der Dampfkraft eben so wie von der Erfindung des Schießpulvers oder der Entdeckung von Amerika eine neue Periode in der Geschichte des Menschengeschlechtes datiren wird, so dürfte die vielleicht in einer nicht fernen Zukunft zu gewinnende Lösung der entgegengesetzten Aufgabe, Umwandlung mechanischer Kraft in Wärme, für deren praktische Ausführbarkeit in neuester Zeit nicht unerhebliche Momente gewonnen worden sind, nicht minder wohlthätige Einflüsse auf die Verhältnisse der gesammten civilisirten Menschheit ausüben.

Trotz der großen Verschiedenheit zwischen den Wirkungen des Lichtes und der Wärme sehen wir doch beide, Licht und Wärme, häufig in inniger Verbindung, insbesondere in der lebhaften Entwickelung, welche wir Feuer nennen, zusammen auftreten. Eben so werden wir weiterhin unseren Lesern

zeigen, daß in vielen Fällen Licht und Wärme ganz dieselben Gesetze befolgen. Diese innige Verknüpfung und Uebereinstimmung zwischen Licht und Wärme läßt vermuthen, daß beide aus einer verwandten Quelle entspringen. Wiewohl nun alle bekannten Erscheinungen des Lichtes ihre vollständige Erklärung in der Vibrationshypothese finden, so ist doch die Wissenschaft bis jetzt noch nicht dahin gelangt, auch die so höchst mannigfaltigen Erscheinungen der Wärme sämmtlich aus einem alle umfassenden Prinzipe herzuleiten.

Da es uns also zur Zeit noch an einer für alle Erscheinungen ausreichenden Erklärung fehlt, so werden wir uns darauf beschränken, die wichtigsten dieser Erscheinungen und die Gesetze, welche dieselben befolgen, unseren Lesern vorzuführen.

Die Wärme selbst vermögen wir nicht wahrzunehmen; wir schließen nur aus den Wirkungen derselben auf das Vorhandensein dieses Agens in der Natur. Zwei Wirkungen aber sind es, welche die Wärme hauptsächlich äußert: Ausdehnung der Körper und Aenderung des Aggregatszustandes derselben. Auf der ersteren Wirkung beruht zugleich das Instrument, welches zum Abmessen der Wärme dient, das Thermometer.

Das Thermometer.

(Fig. 145.)



Dieses höchst nützliche Instrument, vielleicht die wichtigste und am häufigsten angewendete physikalische Vorrichtung überhaupt, soll ums Jahr 1600 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden sein.

Wir machen unsere Leser auf das merkwürdige Jahr 1600 aufmerksam, von welchem ebenfalls, wir wir oben gesehen haben, die Entdeckung der Gesetze des Falles und der Pendelschwingungen durch Galilei und die Erfindung der Fernröhre und Mikroscope datirt, und dem wir auch weiterhin noch begegnen werden.

Das Thermometer von Drebbel bestand aus einer gläsernen Röhre, welche sich oben in eine Kugel A, Fig. 145, erweiterte, im oberen Theile mit Luft, im unteren Theile B aber mit einer Flüssigkeit gefüllt war und mit dem unteren Ende in ein mit der nehmlichen Flüssigkeit gefülltes Gefäß C tauchte. Neben der Röhre befand sich eine in willkührliche Grade getheilte Scala, welche das Steigen und Fallen der Flüssigkeit in der Röhre bei B anzeigte, je nachdem die Luft in der Kugel A und dem oberen Theile der Röhre in Folge vermehrter oder verminderter Wärme sich ausdehnte oder zusammenzog. Eine Erhöhung der Temperatur bewirkte also in Folge der Ausdehnung der Luft ein Fallen, eine Erniedrigung der Temperatur dagegen ein Steigen der Flüssigkeit in der Röhre.

Können wir es einerseits als merkwürdig hervorheben, daß Drebbel als thermoscopische Substanz die Luft, also gerade denjenigen Körper wählte, welcher, wie wir weiterhin sehen werden, sich für diesen Zweck am allerbesten eignet, indem die Luft sowohl die flüssigen, als auch die festen Körper in der Größe und Gleichförmigkeit der Ausdehnung übertrifft, so litt andererseits Drebbel's Instrument an so wesentlichen Mängeln, daß wir heut zu Tage den Namen Thermometer, Wärmemesser, demselben gar nicht, kaum den Namen Thermoscop, Wärmeanzeiger, beilegen würden. Die Flüssigkeit in der Röhre bei B mußte nehmlich nicht blos dann fallen, wenn die in der Kugel und dem oberen Theile der Röhre eingeschlossene Luft in Folge vermehrter Wärme

sich ausdehnte, sondern auch dann, wenn der Druck, welchen die äußere Luft auf die Flüssigkeit im Gefäße C ausübte, sich veränderte. Der wesentlichste Mangel des Instrumentes von Drebbel bestand aber darin, daß dasselbe gänzlich der festen Punkte entbehrte.

Denn wenn auch unter der Voraussetzung, daß der Luftdruck sich nicht erheblich geändert hat, Drebbel's Instrument dazu dienen konnte, eine Zu- oder Abnahme der Wärme anzuzeigen, so fand doch zwischen zwei in der beschriebenen Weise angefertigten Instrumenten keine Uebereinstimmung statt; jedes derselben führte vielmehr seine eigene Sprache; die Angabe der Temperatur nach dem einen stimmte nicht mit der nach dem andern überein.

Die ersten wesentlichen Verbesserungen erfuhr das Thermometer durch die Mitglieder der Akademie in Florenz. Das Thermometer derselben näherte sich in seiner äußeren Einrichtung schon mehr den gegenwärtig gebräuchlichen. Es bestand nehmlich aus einer engen gläsernen Röhre, welche oben geschlossen war und sich unten in eine Kugel erweiterte. Die Kugel und ein Theil der Röhre waren mit Weingeist gefüllt. — Man wendet jedoch gegenwärtig zur Füllung der Thermometer gewöhnlich nicht Weingeist, sondern Quecksilber an, aus Gründen, welche wir weiter unten kennen lernen werden.

Die Florentiner Thermometer hatten vor denen von Drebbel den wesentlichen Vorzug, daß der Gang derselben nur von der Temperatur abhing und nicht auch zugleich durch den Luftdruck bedingt wurde. Die Eintheilung litt aber noch an wesentlichen Mängeln; dieselbe hatte nur einen festen Punkt, als welchen man die Temperatur eines tiefen Kellers bei Florenz annahm, welche das ganze Jahr hindurch ziemlich dieselbe blieb. Im Uebrigen wurde die Scale nach einem Normalthermometer regulirt. Auf diese Art wurden nun zwar ziemlich übereinstimmende Thermometer erhalten; allein dieselben konnten lediglich aus Florenz hervorgehen, aber an keinem anderen Orte der Welt angefertigt werden.

Erst späteren Physikern, besonders Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich, gebührt das Verdienst, die Eintheilung des Thermometers auf zwei feste Punkte, welche an allen Orten aufgefunden werden können und sich zu allen Zeiten als die nehmlichen ergeben, gegründet zu haben. Diese beiden festen Punkte sind der Schmelzpunkt des Eises und der Siedepunkt des Wassers. Der erstere wird gefunden, indem man das Thermometer in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis, der andere, indem man dasselbe in siedendes Wasser oder noch zweckmäßiger in den Dampf siedenden Wassers bringt.

Fahrenheit theilte den Zwischenraum zwischen beiden Punkten in 180 gleiche Theile, schrieb aber beim Eispunkt nicht Null, sondern 32 Grad, folglich beim Siedepunkt 212 Grad, indem er die in dem Winter des Jahres 1709 erlebte Kälte, bei welcher das Thermometer 32 Fahrenheit'sche Grade ($17^7/_9$ Centesimalgrade) unter die Temperatur des Eispunktes herabging, als die möglich größte Kälte ansah. Réaumur dagegen schrieb an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 80 und theilte demgemäß den Abstand zwischen beiden Punkten in 80 gleiche Theile, wegen des zufälligen Umstandes, daß der Weingeist, welchen er zur Füllung seiner Thermometer anwendete, bei einer Erwärmung vom Eispunkte bis zum Siedepunkte sich um 80 Tausendtel seines Volumens ausdehnte. Celsius in Upsala wendete 1742 die zweckmäßigste und natürlichste Eintheilung für den Abstand zwischen dem Eis- und Siedepunkte in 100 gleiche Theile an. Leider sind in Deutsch-

land noch Thermometer mit der Eintheilung nach Réaumur, in England mit der Theilung nach Fahrenheit sehr gebräuchlich.

Bei allen drei Eintheilungen pflegt man die Grade über Null mit (+) Plus, die Grade unter Null mit (—) Minus zu bezeichnen. — Zur bequemen Vergleichung der drei Scalen fügen wir hier eine kleine Tabelle bei.

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.	Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
—30	—24	—22	+40	+32	+104
25	20	13	45	36	113
20	16	4	50	40	122
15	12	+ 5	55	44	131
10	8	14	60	48	140
5	4	23	65	52	149
0	0	32	70	56	158
+ 5	+ 4	41	75	60	167
10	8	50	80	64	176
15	12	59	85	68	185
20	16	68	90	72	194
25	20	77	95	76	203
30	24	86	100	80	212
35	28	95			

Bei der großen Wichtigkeit des Thermometers und der vielfachen Anwendung, welche dasselbe findet, können wir nicht umhin, noch Einiges über die Erfordernisse eines richtigen Thermometers zu bemerken.

Die Röhre muß überall gleiche Weite, gleiches Caliber, haben. Man überzeugt sich hiervon, indem man vor der Füllung einen Tropfen Quecksilber in die Röhre treten läßt, welcher sich in derselben zu einem kleinen Säulchen verlängert. Indem man dieses in der Röhre von einem Ende nach dem anderen hin gleiten läßt, mißt man zugleich, ob dasselbe überall eine gleiche Länge behält, also die Röhre überall gleiche Weite hat. Nur diejenigen Röhren, welche diese Bedingung erfüllen, werden unter einer großen Menge ausgewählt und zur Anfertigung von Thermometern benutzt.

Man füllt dieselben mit Quecksilber, weil zwischen den beiden Fundamentaltemperaturen, dem Eispunkte und dem Siedepunkte, die Ausdehnung des Quecksilbers fast genau mit der Ausdehnung der Luft übereinstimmt, von welcher man aus gleich zu erörternden Gründen annimmt, daß sie dem wahren Gange der Wärme gemäß erfolgt.

Feste und flüssige Körper dehnen sich weder gleich stark, noch gleichförmig aus; sie zeigen besonders in der Nähe ihres Schmelz- und ihres Siedepunktes, also da, wo sie sich dem Uebergange in einen anderen Aggregatszustand nähern, ein sehr unregelmäßiges Verhalten. Da nun bei den permanenten Gasen durch Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur keine Aenderung des Aggregatszustandes herbeigeführt wird, also dieser Grund der Unregelmäßigkeit wegfällt, da überdieß alle Gase sich bei einer gleichen Temperaturerhöhung um eine fast gleiche Größe ausdehnen, so nimmt man eben diese Ausdehnung als das wahre Maaß der Wärme an.

Das richtigste, das eigentliche Normalthermometer, ist demzufolge das Luftthermometer; die Angaben anderer Thermometer, Quecksilber-, Weingeist-, Metallthermometer u. dgl. m., gelten nur in so weit als richtig, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Das Luftthermometer besteht in der einfachsten Einrichtung aus einer in eine Kugel ausgeblasenen, mit Luft gefüllten Thermometerröhre, in welcher

(Fig. 146.)



sich zur Absperrung der Luft, etwa bei a, Fig. 146, ein kleines Quecksilbersäulchen befindet, dessen Steigen oder Fallen die Ausdehnung oder Zusammenziehung der abgesperrten Luft anzeigt. Neben der Röhre ist natürlich eine Scale angebracht, an welcher die Fundamentalpunkte in der oben angegebenen Weise bestimmt worden sind.

Da die Röhre oben offen ist, so hängt der Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre nicht blos von der Temperatur, sondern auch von dem äußeren Luftdrucke ab. Es können daher die Temperaturangaben dieses Instrumentes nur bei einem bestimmten Barometerstande unmittelbare Giltigkeit haben; für jeden höheren oder niedrigeren Barometerstand erfordern dieselben erst eine Correction wegen des abweichenden Luftdruckes.

Wegen dieser Unbequemlichkeit macht man von dem Luftthermometer nur selten Gebrauch. Man hat aber dasselbe vorzüglich zur Controlirung anderer Thermometer, besonders der mit Quecksilber oder Weingeist gefüllten Thermometer benutzt. Da man nun gefunden hat, daß das Quecksilberthermometer zwischen 25 Grad unter und 200 Grad über Null in seinen Angaben fast genau mit dem Luftthermometer übereinstimmt, so bedient man sich zur Abmessung von Temperaturen, welche innerhalb dieser Grenzen liegen, des Quecksilberthermometers, weil dasselbe für den Gebrauch unvergleichlich bequemer ist, als das Luftthermometer.

Das Quecksilber siedet erst bei 360 Grad, aber es geht schon bei 39 Grad unter Null in den festen Zustand über. Das Quecksilberthermometer verliert daher für hohe Kältegrade seine Brauchbarkeit und wird dann gewöhnlich durch das **Weingeistthermometer** ersetzt, indem reiner Spiritus, sogenannter absoluter Alkohol, auch in den höchsten Graden künstlicher Kälte noch flüssig bleibt.

Von der größten Wichtigkeit für die Richtigkeit eines Thermometers ist die Bestimmung der beiden festen Punkte. Obschon der Frierpunkt des Wassers und der Schmelzpunkt des Eises, d. h. diejenige Temperatur, bei deren Erhöhung das feste Eis schmilzt, und diejenige Temperatur, bei deren Erniedrigung das flüssige Wasser fest wird, im Wesentlichen in Eins zusammenfallen, so hat man doch den Nullpunkt des Thermometers nicht im frierenden Wasser, sondern im schmelzenden Eise oder Schnee zu bestimmen, indem Wasser, wenn es gegen jede Erschütterung geschützt wird, bis mehrere Grade unter Null erkalten kann. Wir werden weiter unten auf diese Erscheinung zurück kommen. Dagegen ist die Temperatur des schmelzenden Eises oder Schnees eine durchaus beständige.

Nicht in gleichem Maaße, wie der Eispunkt, kann der Siedepunkt als ein fester Punkt gelten, indem die Siedetemperatur des Wassers vom Luftdrucke abhängt; dasselbe siedet nehmlich bei geringerem Luftdrucke bei einer niedrigeren Temperatur, als bei größerem Luftdrucke. Wenn das Barometer von 28 Zoll um einen Zoll steigt oder fällt, so erhöht oder erniedrigt sich der Siedepunkt ohngefähr um einen Grad. Um genau übereinstimmende Thermometer zu erhalten, muß man daher den Siedepunkt für alle bei dem nehmlichen Barometerstande, etwa 28 Zoll, bestimmen; oder der Künstler bemerkt auf der Rückseite des Thermometers den Barometerstand, bei welchem

der Siedepunkt bestimmt worden ist, und überläßt dem Physiker, welcher sich dieses Instrumentes bedienen will, die erforderliche Correction anzubringen.

Pyrometer. Das bisher besprochene Thermometer kann offenbar nur für mäßige Temperaturgrade gebraucht werden; es verliert seine Richtigkeit für Temperaturen, in deren Nähe das Quecksilber siedet, und es wird gänzlich unanwendbar für solche Hitzegrade, in denen das Glas schmilzt. Ueberhaupt ist die Abmessung hoher Hitzegrade mit großer Schwierigkeit verbunden, und doch ist die Kenntniß derselben sowohl in wissenschaftlicher, als in technischer Hinsicht in vielen Fällen von Wichtigkeit. Die hierzu dienenden Vorrichtungen führen den Namen Pyrometer. Wir führen deren zwei an: Bei dem einen sind zwei Stäbe von Metall, welche sich in der Wärme ungleich ausdehnen, an dem einen Ende mit einander fest verbunden. Beide Stäbe haben bei einer bestimmten niedrigen Temperatur eine gleiche Länge; bei höheren Temperaturen ragt das stärker ausdehnsame um so mehr über das andere hervor, je höher die Temperatur ist.

Ein zweites Pyrometer besteht aus einem hohlen kugelförmigen Gefäße von Platin, welches mit einer feinen Oeffnung versehen ist. Wird dieses Gefäß in einen erhitzten Raum gebracht, so entweicht ein Theil der in dem Gefäße enthaltenen Luft in Folge der Ausdehnung derselben durch die feine Oeffnung. Um diese Luftmenge zu messen, wird das Gefäß rasch mit nach unten gekehrter Oeffnung unter Wasser abgekühlt. Aus dem Gewichte des eingedrungenen Wassers ergiebt sich die Menge der Luft, welche durch die Ausdehnung desselben in der Hitze ausgetrieben worden ist, und hieraus der Temperaturgrad, da, wie schon früher bemerkt, die Ausdehnung der Luft der Temperatur proportional erfolgt.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme hat uns die Mittel zur Abmessung der Wärme dargeboten. Thermometer und Pyrometer beruhen auf dieser Eigenschaft der Wärme. Außerdem sind eine Menge Erscheinungen, welche uns die Erfahrungen des täglichen Lebens, so wie die Naturprozesse im Großen darbieten, eine Folge dieser Ausdehnung, von welcher wir nun noch weiter handeln wollen.

Ausdehnung der festen und flüssigen Körper durch die Wärme. Am schwächsten dehnen sich die festen Körper durch die Wärme aus. Ein Eisenstab z. B. verlängert sich bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad um nicht viel mehr, als ein Tausendtel seiner Länge. So gering auch diese Ausdehnung erscheint, so macht sich dieselbe doch in vielen Fällen bemerklich. Ein Bolzen, welcher in das Plätteisen bei gewöhnlicher Temperatur eben paßt, geht in dasselbe nicht mehr hinein, wenn er glüht; der um das hölzerne Rad gelegte glühende eiserne Reifen schließt sich dicht an dasselbe an, indem er sich bei der Abkühlung zusammenzieht, eine Erscheinung, welche unsere Schmiede mit Vortheil zur Befestigung des eisernen Reifens an dem hölzernen Rade benutzen; die Schienen auf der Eisenbahn dürfen bei der gewöhnlichen Lufttemperatur nicht dicht an einander schließen, sondern müssen einen kleinen Zwischenraum zwischen sich lassen, weil sie ohnedieß in Folge der Ausdehnung bei höherer Temperatur sich krümmen würden, u. dgl. m.

Weit beträchtlicher, als die festen, werden die flüssigen Körper durch die Wärme ausgedehnt. Quecksilber vergrößert bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad sein Volumen ohngefähr um $^1/_{55}$, Wasser um $^1/_{22}$.

Eine höchst merkwürdige Abweichung jedoch von dem Verhalten anderer Flüssigkeiten zeigt das Wasser bei dem Uebergange aus dem festen in den

flüssigen Zustand. Während z. B. Quecksilber beim Erstarren sich zusammenzieht, daher festes Quecksilber in flüssigem, eben so festes Blei in geschmolzenem u. dgl. m. zu Boden sinkt, ist dagegen Eis leichter, als Wasser, und schwimmt auf demselben. Bei Null Grad ist das specifische Gewicht des Eises, wenn dasselbe frei von Luftblasen ist, ohngefähr um $^1/_{14}$ geringer, als das des Wassers. Ein Würfel von Eis von 14 Zoll Höhe würde also aus dem Wasser ohngefähr um einen Zoll hervorragen. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und 4°

Die Ausdehnung des Wassers tritt indeß nicht erst bei dem Erstarren zu Eis ein; sie beginnt schon bei 4 Grad über Null. Wenn Wasser von der höchsten Temperatur, die es bei gewöhnlichem Luftdrucke anzunehmen vermag, von 100 Grad, bis zu 4 Grad abgekühlt wird, so folgt es der gewöhnlichen Regel und zieht sich zusammen; wird dasselbe aber dann weiter von 4 Grad bis Null Grad abgekühlt, so zieht es sich jetzt nicht mehr zusammen, sondern dehnt sich im Gegentheile aus. Nach dem Uebergange in den festen Zustand folgt es als Eis, wenn es noch weiter unter Null erkältet wird, wieder der gewöhnlichen Regel; es zieht sich zusammen.

Ganz dem gemäß verhält sich auch das Eis und das Wasser bei der Erwärmung. Eis, welches eine Temperatur unter Null Grad hat, dehnt sich aus, wenn es bis Null Grad erwärmt wird; Wasser von Null Grad aber zieht sich bei der Erwärmung von Null bis 4 Grad zusammen, und bei weiterer Erwärmung über 4 Grad dehnt es sich wieder der allgemeinen Regel gemäß aus.

Dieses auffallende Verhalten des Wassers und Eises steht nicht bloß als eine Merkwürdigkeit da, für welche es zur Zeit noch an einer genügenden Erklärung fehlt; es ist dasselbe vielmehr auch von dem wesentlichsten Einflusse und Nutzen im Haushalte der Natur.

Wenn mit dem Ablauf des Sommers die Lufttemperatur sich vermindert, kühlen sich die Gewässer unserer Landseen und Teiche zunächst an der Oberfläche ab; die abgekühlte schwerere Schicht sinkt zu Boden und wird durch eine wärmere aus der Tiefe ersetzt, welche dann ebenfalls in der Berührung mit der kälteren Luft sich abkühlt, niedersinkt und durch eine wärmere aus der Tiefe ersetzt wird. Indem in Folge dieser fortwährenden Strömungen die gesammte Wassermasse mit der kälteren Luft in Berührung gebracht wird, schreitet die Abkühlung derselben, obschon das Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist, mit der sich vermindernden Lufttemperatur rasch fort, aber nur bis zu 4 Grad. Ist nehmlich die Wärme des Wassers bis zu diesem Temperaturgrade herabgegangen, so zieht sich dasselbe bei noch weiterer Abnahme der Temperatur, wie wir oben gesehen haben, nicht mehr zusammen, dasselbe dehnt sich vielmehr aus, und die bis unter 4 Grad abgekühlte oberste Schicht bleibt jetzt, da sie leichter geworden ist, an der Oberfläche schwimmen und verwandelt sich, wenn ihre Temperatur bis Null Grad herabgegangen ist, in Eis, welches, eben so wie das Wasser, ein sehr schlechter Leiter der Wärme ist und daher so wie die obersten auf 1, 2, 3 Grad abgekühlten, eben wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmenden Wasserschichten, eine schützende Decke gegen das weitere Eindringen der Kälte in die unteren Wasserschichten bildet, welche noch eine Temperatur von 4 Grad besitzen und deshalb am Boden lagern, weil Wasser von 4 Grad Temperatur am schwersten ist.

Auf diese Art finden in tiefen Gewässern auch bei strenger Winterkälte Fische und andere Wasserthiere eine zur Erhaltung ihres Lebens erforderliche

Wärme vor. Dieselben würden dagegen ihrem Untergange verfallen, wenn die Zusammenziehung des Wassers mit der Abnahme der Temperatur nicht bei 4, sondern erst bei Null Grad ihr Maximum erreichte. Die Abkühlung des Wassers würde dann nicht blos, wie oben angegeben, bei eintretender Winterkälte bis 4 Grad, sondern bis Null Grad rasch fortschreiten, an dem Boden würden, als die schwersten, nicht Schichten von 4 Grad, sondern von Null Grad lagern; es würde daher das Frieren von hier aus beginnen, und Teiche, Seen und Flüsse würden von Grund aus zufrieren.

Das über die Bildung des Eises Gesagte gilt jedoch zunächst nur von den stehenden Gewässern. Nur in diesen lagern sich die Schichten mit der Regelmäßigkeit, wie oben angegeben, nach Maßgabe ihrer Temperatur und Dichtigkeit übereinander, und nimmt die Eisbildung an der Oberfläche ihren Anfang. In Flüssen dagegen werden wegen der Strömung die kälteren und wärmeren Schichten beständig durch einander gemischt, und die Bildung des Eises nimmt in diesen hauptsächlich am Grunde ihren Anfang, theils weil hier die Strömung am schwächsten ist, theils weil die Eisnadeln, sowie alle Krystalle sich gern zuerst an feste Körper anlegen. Indem die sich allmählig vergrößernden Eiskrystalle vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes durch das Wasser gehoben und vom Boden losgerissen werden, entsteht in den Flüssen die bekannte Erscheinung des sogenannten Grundeises, welches sich dagegen aus den oben erörterten Gründen niemals in Seen oder Teichen bilden kann.

Daß das Wasser beim Frieren sich ausdehnt, zeigt auch die Erfahrung, welche man nicht selten zu seinem eigenen Nachtheile zu machen Gelegenheit hat, daß verschlossene oder nach oben sich verengende Gefäße, wenn Wasser in denselben friert, zerrissen werden. Die Kraft, welche das frierende Wasser hierbei äußert, ist so stark, daß selbst feste Bomben durch dieselbe gesprengt werden. Es werden daher Bäume, Mauern, Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, häufig beim Frieren desselben im Winter auseinander gerissen; eben so werden Pflastersteine, Thürschwellen u. dgl. durch den Frost gehoben. Nicht ohne Nutzen dagegen für die Fruchtbarkeit des Bodens dürfte die Auflockerung sein, welche derselbe beim Frieren im Winter erfährt.

Ausdehnung der luftförmigen Körper durch die Wärme. Noch stärker, als die flüssigen Körper, dehnen sich die luftförmigen Körper durch die Wärme aus. Eine Luftmasse vergrößert ihr Volumen bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad um etwas mehr, als den dritten Theil, und bei einer Erwärmung von Null bis 300 Grad dehnt sich dieselbe, wenn der äußere Druck der nehmliche bleibt, in den doppelten Raum aus.

Da die Erwärmung der Luft mit einer so beträchtlichen Ausdehnung verbunden ist, so muß fast jede Temperaturdifferenz in der Luft mit einer Störung des Gleichgewichtes verbunden sein und in einem so beweglichen Elemente, wie die Luft, mehr oder minder lebhafte Strömungen hervorrufen. Wir beobachten diese Strömungen als Zug an den Fenstern und Thüren unserer Wohnungen, eben so in den Kaminen und Schornsteinen, als Winde und Stürme aber in der Atmosphäre.

Luftzug. Wenn wir uns in einer industriellen Gegend befinden, so erblicken wir häufig neben den Fabrikanlagen thurmhohe Schornsteine, welche die Bestimmung haben, einen starken Zug hervorzurufen, da durch diesen wesentlich die Lebhaftigkeit des Verbrennungsprozesses und die zu erzielende Hitze bedingt wird. Die Erfahrung lehrt uns, daß mit der Höhe des Schornsteines im Allgemeinen auch die Stärke des Zuges zunimmt.

(Fig. 147.)



Um die Gründe zu verdeutlichen, auf denen diese Erfahrung beruht, wollen wir annehmen, AB, Fig. 147, sei ein aufrechtstehender, cylinderförmiger Schornstein, und die in demselben enthaltene Luftsäule sei durch ein darunter angebrachtes Feuer zu einer höheren Temperatur, als die umgebende äußere Luft erwärmt. So lange dieses noch nicht der Fall war, so lange die in dem Schornsteine eingeschlossene Luft mit der äußeren eine gleiche Temperatur, also auch ein gleiches specifisches Gewicht besaß, konnte keine Strömung eintreten; am unteren Ende B übte die innere eingeschlossene Luft einen eben so starken Druck aus, als die äußere umgebende Luft; beide drückende Kräfte hielten sich das Gleichgewicht. So wie aber die Temperatur der eingeschlossenen Luftsäule AB in Folge der unter B angebrachten Heizung sich erhöht, und daher das Gewicht dieser Luftsäule sich vermindert, so verringert sich auch um eben so viel der innere Luftdruck. Derselbe vermag daher dem äußeren Luftdrucke nicht mehr das Gleichgewicht zu halten, sondern wird von diesem um so viel übertroffen, als das Gewicht der in dem Schornstein AB enthaltenen Luftsäule in Folge der Erwärmung sich vermindert hat, d. h. um so viel, als die erwärmte Luftsäule AB weniger wiegt, als eine eben so große Luftsäule von der Temperatur der äußeren Luft.

Mit einer diesem Unterschiede entsprechenden Kraft wird die äußere Luft am unteren Ende des Schornsteins einwärts, und wie sich weiter leicht zeigen läßt, die innere am oberen Ende auswärts getrieben. Wir sind daher geradezu im Stande, die Stärke des Zuges zu berechnen, wenn uns die senkrechte Höhe des Schornsteins und die Temperatur der inneren erhitzten und die Temperatur der äußeren Luft gegeben ist. Wie bei aller Bewegung würde jedoch auch hier der wirklich zu erzielende Effect hinter dem berechneten etwas zurückbleiben, und zwar hauptsächlich wegen der Reibung, welche die Luft an den Wänden des Schornsteines erleidet.

Abgesehen hiervon und von anderen kleinen Nebenumständen, werden sich unsere Leser, wie wir hoffen, durch die eben vorgetragene Erörterung überzeugt haben, daß die Stärke des Zuges in gleichem Verhältnisse mit der senkrechten Höhe des Schornsteins zunehmen und um so mehr wachsen muß, je größer die Temperatur der inneren eingeschlossenen Luft, und je geringer die Temperatur der äußeren Luft ist.

Auch diese letzte Behauptung in Betreff des Einflusses der äußeren Lufttemperatur werden unsere Leser ohne Zweifel nach ihren eigenen Erfahrungen bestätigen können, indem bei starkem Frostwetter im Winter die Oefen besser ziehen, als bei milderer Witterung.

Auf ganz gleichen Gründen, welche wir für die Strömung der Luft in den Schornsteinen vorgetragen haben, beruht auch der Zug, welchen wir, zumal im Winter, an unseren Thüren und Fenstern wahrnehmen; auch dieser wird wesentlich durch den Unterschied zwischen der Temperatur der inneren und äußeren Luft bedingt; auch hier strömt die kalte Luft unten ein, die warme oben aus, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man eine Lichtflamme an dem Rande einer etwas geöffneten oder nicht dicht schließenden Thüre auf und ab bewegt. Man wird dann bemerken, daß die Flamme unten durch den Zugwind nach Innen gezogen, oben aber nach Außen getrieben wird.

Die Land- und Seewinde.

Das nehmliche Verhältniß sehen wir auch bei den Luftströmungen in der Atmosphäre, bei den Winden, wiederkehren; auch hier fließt oben die warme Luft ab, und strömt unten die kalte Luft ein.

Besonders einfach und leicht auf die veranlassenden Ursachen zurückzuführen, gestalten sich diese Verhältnisse bei den Land- und Seewinden, welche man an den Küsten des Meeres bemerkt. Am Tage weht hier der Wind vom Meere nach dem Lande, in der Nacht vom Lande nach dem Meere hin. Der erstere beginnt nach vorangegangener Windstille mit allmählig zunehmender Stärke einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr seine größte Stärke, nimmt dann allmählig wieder ab und geht einige Stunden nach Sonnenuntergang in Windstille über, worauf gegen Mitternacht sich der vom Lande her wehende Wind erhebt, welcher die ganze Nacht hindurch und bis nach Sonnenaufgang anhält.

Der angegebene Verlauf dieser Winde, die Uebereinstimmung mit dem Gange der Tageswärme kann über die Ursache derselben keinen Zweifel lassen. Indem am Tage sich das Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erhitzt, wird auch die auf dem Lande lagernde Luftsäule stärker erwärmt, und indem die durch die Ausdehnung erhöhte Luftsäule oben abfließt, also an Gewicht verliert, bringt unten in dieselbe kältere Luft von der See her ein. Es muß daher am Tage der Wind von der See nach dem Lande hin wehen.

So wie das feste Land am Tage durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird, als das Wasser, so kühlt sich umgekehrt dasselbe zur Nachtzeit auch stärker ab. Um diese Erscheinung zu erklären, müssen wir schon hier einen Gegenstand vorläufig berühren, von welchem wir erst später ausführlicher handeln können. Wir werden nehmlich weiterhin zeigen, daß nicht blos die Sonne und glühende oder stark erhitzte Körper, sondern daß alle Körper und unter allen Umständen Wärme ausstrahlen. Indem nun auch die Erde beständig Wärme in den Weltraum ausstrahlt, aber nur am Tage Wärme von der Sonne empfängt, vermindert sich während der Nacht in Folge der Ausstrahlung ihre Temperatur. Ohne diese Ausstrahlung müßte ja, da wir Tag um Tag von der Sonne Wärme empfangen, die Temperatur auf der Erde beständig zunehmen; die Verluste durch Ausstrahlung in den Weltraum gleichen diesen Gewinn wieder aus und erhalten Jahr aus Jahr ein die mittlere Temperatur auf ohngefähr gleicher Höhe.

Nicht alle Körper besitzen jedoch ein gleiches Ausstrahlungsvermögen; diejenigen, welche die Wärmestrahlen, welche auf sie fallen, am begierigsten verschlucken, strahlen auch am reichlichsten Wärme aus. So wie also das feste Land am Tage von den Sonnenstrahlen mehr verschluckt, als das glänzendere, stärker reflectirende Wasser, so strahlt dasselbe auch stärker aus und kühlt sich zur Nachtzeit stärker ab, als das weniger ausstrahlende Wasser. Indem aber in Folge hiervon auch die auf dem Wasser ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur besitzt, als die auf dem Lande lagernde Luftsäule, bringt von dieser her in jene unten kalte Luft ein und bringt so die Erscheinung eines zur Nachtzeit vom Lande nach der See hin wehenden Windes hervor.

Die so eben besprochenen Winde zeigen sich jedoch nur in der Nähe der Küsten und auch hier nur dann, wenn sie nicht durch andere stärkere Luftströmungen verdrängt werden; sie sind überhaupt nur schwach und treten am deutlichsten in der heißen Zone hervor; in höheren Breiten werden sie durch die vielen anderweitigen und weit kräftigeren Winde mehrentheils gänzlich verdunkelt.

Das Beispiel der Land- und Seewinde zeigt uns ungemein klar und deutlich, wie eine Verschiedenheit in der Temperatur benachbarter Gegenden Strömungen in der Atmosphäre, und zwar in den oberen Luftschichten eine Strömung von der wärmeren nach der kälteren, in den unteren einen Wind von der kälteren nach der wärmeren Gegend hervorruft.

Die größte und ununterbrochenste Ungleichheit in der Temperatur an der Erdoberfläche bieten uns aber die verschiedenen Zonen der Erde, die Gegenden am Pole und am Aequator, dar. Wir müssen daher erwarten, daß aus dieser Ungleichheit auch die mächtigste und andauerndste Strömung, in den oberen Luftschichten vom Aequator nach den Polen, in den unteren von den Polen nach dem Aequator, also auf der nördlichen Erdhälfte an der Oberfläche derselben ein ununterbrochener Nordwind, auf der südlichen Hälfte ein unausgesetzt wehender Südwind hervorgeht. Wir müssen dieses als nothwendig erwarten, wenn nicht etwa andere zugleich eingreifende Ursachen hierin eine Aenderung hervorbringen, so wie wir ja z. B. auch in Hinsicht der Land- und Seewinde oben bemerkt haben, daß dieselben nur so lange deutlich hervortreten, als sie nicht durch andere mächtigere Strömungen verdrängt werden.

Die Aequatoreal- und Polarströmungen in der Atmosphäre.

Als die erste eingreifende Ursache, welche das Zustandekommen eines reinen Nordwindes auf unserer, eines reinen Südwindes auf der anderen Erdhälfte beeinträchtigt, ist die Axendrehung der Erde anzuführen. An dieser Axendrehung nimmt nicht blos die Gesammtheit der auf der Erdoberfläche vorhandenen festen und flüssigen Körper, sondern auch die Atmosphäre gleichförmig Theil. Wäre dies nicht der Fall, bliebe die Atmosphäre in Ruhe, während sich die Erde und wir mit ihr von Westen nach Osten drehen, so würden wir mit der Geschwindigkeit von ohngefähr 900 Fuß in der Secunde die ruhende Atmosphäre durchschneiden, und weil wir ja die eigene Bewegung, welche wir mit der Erde theilen, nicht merken, so würde uns der heftigste Wind aus Osten, der furchtbarste, die schrecklichsten Zerstörungen anrichtende Orkan entgegenwehen. Dies ist jedoch deshalb nicht der Fall, weil, wie gesagt, auch die Atmosphäre, so wie alle anderen der Erde zugehörigen Körper an der Axendrehung derselben Theil nehmen.

Da die Parallelkreise mit der Entfernung vom Aequator, mit der Annäherung an den Pol immer kleiner werden, so haben die näher nach dem Pole zu liegenden Gegenden eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit, als die dem Aequator näheren. Wenn daher ein Lufttheilchen aus höheren Breiten nach niederen Breiten genau in der Richtung von Norden nach Süden fortbewegt wird, so muß dasselbe vermöge der geringeren Rotationsgeschwindigkeit, die es aus den höheren Breiten mitbringt, hinter den mit größerer Rotationsgeschwindigkeit in der Richtung von Westen nach Osten fortbewegten Luftschichten in den niederen Breiten zurückbleiben und daher für einen diese letztere Bewegung theilenden Beobachter sich von Osten nach Westen zu bewegen scheinen.

Der große Unterschied in der Temperatur zwischen den Polar- und Aequatorealgegenden muß, wie schon oben bemerkt, eine beständige Strömung der kälteren Luft an der Erdoberfläche von beiden Polen nach dem Aequator hin herbeiführen. Allein diese beiden Polarströme können nach den eben erörterten Gründen zu Folge der Axendrehung der Erde von den Bewohnern derselben nicht als reine Nord- und Südwinde wahrgenommen werden, sondern sie müssen den Bewohnern unserer Erdhälfte aus Nordost, denen der anderen Erdhälfte aus Südost zu kommen scheinen.

Die Passatwinde.

Hiernach müßte also auf der nördlichen Erdhälfte unausgesetzt durch das ganze Jahr Nordostwind, auf der südlichen Erdhälfte Südostwind wehen. Dieses ist nun in den näher am Aequator liegenden Gegenden, in denen diese Winde den Namen des Nordost- und Südostpassatwindes führen, wirklich der Fall. Wenn unsere eigenen Erfahrungen und überhaupt die Erfahrungen der Bewohner der vom Aequator entfernteren Gegenden der Erde mit dem Obigen nicht übereinzustimmen scheinen, so soll sogleich von den Störungen, welche eine Abweichung hervorbringen, die Rede sein. Zunächst wollen wir jedoch bei der so merkwürdigen Erscheinung der Passatwinde, welche in zwei zu beiden Seiten des Aequators liegenden Gürteln das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehen, und deren einfache Erklärung, wie sie zuerst von Hadley (1735) aufgestellt worden ist, wir so eben vorgetragen haben, verweilen.

Von den beiden Passaten erstreckt sich der nördliche bis etwa 30°, der südliche nur bis 25° vom geographischen Aequator. Diese Ungleichheit beruht darauf, daß im Allgemeinen der nördlichen Erdhälfte eine höhere Temperatur, als der südlichen zukommt, diejenige Linie der Erdoberfläche, an welcher die größte Wärme stattfindet, der sogenannte thermische Aequator, nicht mit dem geographischen Aequator zusammen, sondern ganz auf die nördliche Erdhälfte fällt. Ueberdieß sind die Grenzen der Passate nicht durch das ganze Jahr dieselben, sondern dem Laufe der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten folgend, bald mehr nach Norden, bald mehr nach Süden vorrückend.

Beide Passate wehen am gleichmäßigsten, sowohl in Hinsicht der Richtung, als der Stärke, in der Mitte des Gürtels, welchen jeder einnimmt. Getrennt sind sie von einander durch einen Gürtel von etwa 6 Grad Breite, in welchem der nördliche und südliche Polarstrom bei ihrem Zusammentreffen in gerade entgegengesetzter Richtung sich gleichsam gegenseitig aufstauen, und der aufsteigende Luftstrom, welcher hier die größte Stärke hat, die horizontale Richtung der Luftströmung verdrängt.

In diesem Gürtel, der sogenannten Region der Calmen, wechseln Windstillen mit den heftigsten Stürmen und Gewitterregen. In den Gegenden der Passate herrscht dagegen mit der gleichen Windesrichtung durch das ganze Jahr ein immer heiterer Himmel; Regen gehört zu den Seltenheiten, da es hier an den Bedingungen desselben, Eindringen eines kälteren Luftstromes in wärmere feuchte Luft, in der Regel fehlt.

Die Passatwinde zeigen sich in ihrer vollen Regelmäßigkeit nur in den großen Oceanen. An den Küsten werden sie durch die Land- und Seewinde, im Inneren des Landes durch Gebirgszüge gestört. Nur in ganz flachen Gegenden, wie z. B. in den Ebenen Südamerika's, bringt in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes der Südostpassat bis tief in das Land hinein.

Wenn wir in den beiden Passaten die Strömungen der unteren kalten Luft von den Polen nach dem Aequator, überhaupt von den höheren Breiten nach den niederen erkannt haben, so geht schon hieraus, wenn überhaupt unsere Theorie richtig ist, hervor, daß in den oberen Regionen die warme Luft in der entgegengesetzten Richtung, also vom Aequator nach den Polen abfließen, dem Nordostpassat an der Oberfläche der Erde eine südwestliche, dem Südostpassat eine nordwestliche Strömung in den oberen Luftschichten

entsprechen muß. Als Erfahrungen, welche das Vorhandensein dieser oberen Luftströmungen bekunden, führen wir folgende an:

Auf dem Pic von Teneriffa trifft man in der Regel westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordostpassat weht. Bei einem Ausbruche des Vulkans der Insel St. Vincent fiel, während der Nordostpassat wehte, auf der Insel Barbados, von welcher die Insel St. Vincent westlich gelegen ist, ein Aschenregen nieder. — Auch sollen in der Regel in den tropischen Gegenden die Wolken in den höheren Luftschichten sich in einer dem Passatwinde entgegengesetzten Richtung bewegen.

Haben wir so das Vorhandensein des Polar- und Aequatorealstromes in den tropischen Gegenden nachgewiesen, so fragen wir nun weiter, welches Verhalten diese Ströme, die oben in der Richtung vom Aequator nach den Polen hin abfließende warme Luft und die unten in der entgegengesetzten Richtung strömende kalte Luft in weiterer Entfernung vom Aequator, in den höheren Breiten zeigen, in denen bekanntlich weder vorwaltend nordöstliche, noch südwestliche Winde angetroffen werden, sondern ein vielfacher Wechsel dieser Windesrichtungen — von anderen Winden wird weiterhin gehandelt werden — stattfindet.

Dieser Wechsel wird von den Physikern durch die Annahme erklärt, daß der obere vom Aequator nach den Polen hin gerichtete Strom, indem er bei weiterem Vordringen von Süden nach Norden sich immer mehr abkühlt und in Folge hiervon an specifischem Gewichte zunimmt, sich allmählig bis zur Erdoberfläche herab senkt und also in den höheren Breiten nicht mehr *über*, sondern neben dem Polarstrome hergeht. Indem nun abwechselnd bald der Polar-, bald der Aequatorealstrom über unsere Gegend seinen Lauf nimmt, haben wir im ersten Falle Nord-, Nordost- oder Ostwind, im letzteren Falle Süd-, Südwest- oder Westwind.

Wir erinnern unsere Leser daran, daß, wie wir oben gezeigt haben, eine in der Richtung von Norden nach Süden bewegte Luftmasse vermöge der geringeren Rotationsgeschwindigkeit, die sie aus den höheren Breiten mitbringt, hinter den mit größerer Geschwindigkeit von Westen nach Osten bewegten Theilen der Atmosphäre in den niederen Breiten zurückbleibt. Es muß dies offenbar um so mehr der Fall sein, je weiter die Luftmasse in der Richtung von den Polen nach dem Aequator fortschreitet, um so mehr muß folglich auch die Geschwindigkeit ihrer scheinbaren Bewegung von Osten nach Westen zunehmen. Je weiter daher der Polarstrom vordringt, um so mehr wird derselbe nach Nordost und Ost abgelenkt. Mit Recht sagt in dieser Beziehung *Dove*: die meisten Winde stammen nicht aus der Gegend, aus welcher sie sagen; der Ost und Nordost sind weit mehr Nord, als der Nord selbst.

Es kommen nehmlich zu Folge der vorstehenden Erörterung der Ost- und Nordostwind aus nördlicher gelegenen Gegenden zu uns, als der Nordwind.

Wir brauchen wohl kaum zu erwähnen, daß ganz Aehnliches auch von dem Aequatorealstrome gilt, daß derselbe nehmlich um so mehr eine westliche Richtung annehmen muß, aus einer je ferneren südlichen Gegend derselbe zu uns gelangt. Denn, indem die aus niederen Breiten in höhere überströmenden Luftmassen von dort eine größere Rotationsgeschwindigkeit mitbringen, müssen sie in der Richtung der Axendrehung der Erde, also in der Richtung von Westen nach Osten, den Luftmassen, welche sie in der höheren Breite antreffen, voraneilen.

Der Südost und Nordwest.

Das Vorhergehende hat, wie wir hoffen, unseren Lesern Aufschluß über die Entstehung der Hauptwinde, welche bei uns am häufigsten in nordöstlicher und südwestlicher Richtung wehen, gegeben. Dieselben verdanken der großartigsten Temperaturverschiedenheit, der ungleichen Vertheilung der Wärme über die verschiedenen Zonen der Erde, ihren Ursprung. Sie sind jedoch, wenn auch die vorherrschenden, doch nicht die alleinigen Winde, was uns um so weniger befremden kann, da wir im Vorangehenden gesehen haben, daß überhaupt jede Ungleichheit der Temperatur in der Luft Strömungen herbeiführen, die mannigfaltigsten Ursachen aber, die Vertheilung von Wasser und Land, die Nähe hoher Gebirgsrücken u. a. m., Temperaturverschiedenheiten veranlassen können. Unsere Leser werden nicht erwarten, daß wir hierauf im Einzelnen eingehen. Wir bemerken nur noch in Betreff der zwei Windesrichtungen, welche weder dem Polar-, noch dem Aequatorealstrome ihre Entstehung verdanken können, nehmlich Südost und Nordwest, daß der Südost in der That für unsere Gegend zu den selten, der Nordwest dagegen zu den häufiger wehenden Winden gehört. Ueber den Ursprung dieses letzteren Windes führen wir, Dove folgend, Folgendes an:

Die Moussons.

Indem der weit ausgedehnte Continent von Asien im Sommer sich durch die Sonnenstrahlen bis zu hohen Breiten hinauf stark erhitzt, die erwärmte Luft oben nach allen Seiten hin abfließt, erzeugt das Hinzuströmen der unteren kälteren Luft in den indischen Meeren, die während der Sommermonate regelmäßig in südwestlicher Richtung wehenden Moussons, an den Ostküsten Asiens östliche, in Europa aber nordwestliche Winde. — Die während der Wintermonate in den indischen Meeren in nordöstlicher Richtung wehenden Moussons aber sind eine Folge der im Winter stärkeren Abkühlung des Continents von Asien, als des südlich gelegenen Oceans.

Eben so geht in dieser Jahreszeit in Nordamerika, welches sich durch strenge Winter auszeichnet, die Temperatur weit unter die des atlantischen Oceans und selbst unter die Temperatur, welche bei gleicher nördlicher Breite in Europa angetroffen wird, herab und veranlaßt in den unteren Luftschichten eine nordwestliche Strömung, welche sich über den atlantischen Ocean bis zu den westlich gelegenen Ländern Europa's fortsetzt.

Zu Folge dieser Theorie werden also für unsere Gegend häufig Nordwestwinde im Sommer durch die größere Hitze Asiens, im Winter durch die größere Kälte Amerika's hervorgerufen.

Das Drehungsgesetz.

Wenn Winde verschiedener Richtung, ins Besondere der Polar- und Aequatorealstrom, sich gegenseitig verdrängen, so muß hierdurch offenbar eine vorübergehende Aenderung der Windesrichtung, eine Drehung des Windes entstehen. Nach einer schon früher aufgestellten, in neuerer Zeit aber durch Dove näher begründeten Ansicht erfolgt diese Drehung gewöhnlicher in der Richtung Nord, Ost, Süd, West, Nord, also mit der Sonne, als in der entgegengesetzten Richtung.

Die Stürme.

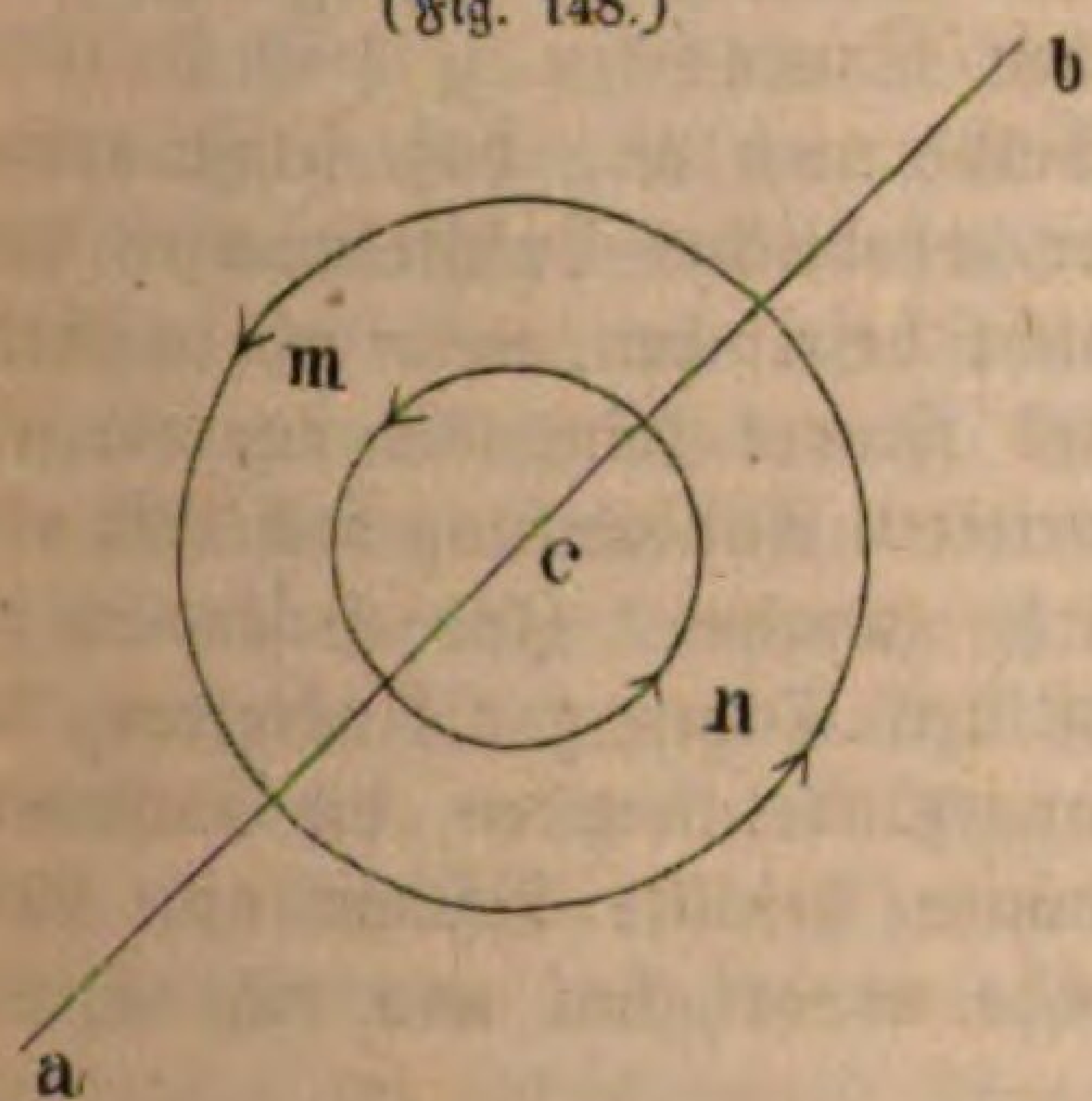
Das Vorhergehende betraf zunächst die in weiter Ausdehnung mit mehr oder weniger Regelmäßigkeit wehenden, herrschenden Winde. Wir haben nun noch von den meist auf einen schmalen Raum beschränkten, plötzlich losbrechenden und eben so rasch wieder vorübergehenden Stürmen zu handeln.

Wie schon oben angeführt, wechseln in der Region der Calmen Windstillen mit den heftigsten Stürmen. Die in diesem Gebiete entspringenden Stürme überschreiten in ihrem weiteren Verlauf die Grenzen desselben bis zu mehr oder minder großen Fernen. Sie richten ins Besondere auf den

westindischen Inseln, wo sie den Namen Tornados führen, oft die schrecklichsten Verwüstungen an und setzen auch wohl ihren Lauf bis in die vereinigten Staaten von Nordamerika fort. Auf jenen Inseln werden durch die Tornados nicht selten ganze Landschaften ihres Baumwuchses beraubt, die festesten Gebäude niedergerissen und die Einwohner unter den Trümmern derselben begraben. Eine sehr gewöhnliche Erscheinung bei diesen Stürmen ist, daß dieselben durch eine plötzlich eintretende Windstille unterbrochen werden, worauf dann der Sturm von Neuem mit der größten Heftigkeit, aber mit veränderter Richtung losbricht. In der Regel sind diese Stürme von den stärksten Regengüssen und den gewaltigsten Donnerschlägen begleitet. Angekündigt werden dieselben oft dadurch, daß am völlig heiteren Himmel und bei gänzlicher Windstille sich eine dünne Wolke bildet, welche sich rasch vergrößert und über den ganzen Himmel ausbreitet, worauf dann plötzlich der Ausbruch des Orkans erfolgt.

Höchst wahrscheinlich sind diese Stürme als großartige Wirbelwinde anzusehen, bei denen die bewegten Luftmassen in weiten Kreisen um ein gemeinschaftliches, ebenfalls, aber verhältnißmäßig langsam fortschreitendes Centrum rotiren. Für diese Annahme spricht ins Besondere der Umstand, daß häufig zur Zeit des nehmlichen Sturmes an nicht weit auseinander liegenden Orten die Windesrichtung die entgegengesetzte ist, und wie schon oben angeführt, daß an dem nehmlichen Orte oft nach zwischengetretener Windstille der Sturm sich mit veränderter Richtung erneuert.

(Fig. 148.)



Ist nehmlich gemäß dieser Ansicht c, Fig. 148, das Centrum des Wirbels, so wird z. B. in den Orten m und n gleichzeitig der Wind entgegengesetzte Richtungen haben. Bewegt sich das Centrum c in der Richtung ab fort, so wird in dem Augenblicke, in welchem dasselbe über einen Ort hinweggeht, an diesem Orte Windstille eintreten, vorher und nachher aber der Sturm mit gerade entgegengesetzter Richtung auftreten.

Die Windhosen.

Als Wirbelwinde sind ferner die so genannten Windhosen oder Tromben anzusehen, welche, wenn sie auf dem Wasser erscheinen, auch den Namen Wasserhosen führen. Dieselben bestehen aus zwei mit ihren Spitzen gegen einander gekehrten kegelförmigen Theilen, von denen der obere durch eine herabhängende Wolke, der untere durch eine emporgehobene Windsäule oder durch aufgewirbelte Staubtheile und andere leichte Körper gebildet wird. Im III. Bd. der ges. Naturw., in dem Abschnitte „Das Meer" von H. Romberg, sind Wasserhosen abgebildet, wovon die erste eine, deren oberer und unterer Theil sich noch nicht vereinigt hat, die letzte eine solche, bei welcher diese Theile bereits zu einer zusammenhängenden Säule verbunden sind, darstellt. — Die Tromben sind häufig von heftigen Blitzschlägen und Hagel begleitet und richten auf dem schmalen Striche, über welchen sie ihren Lauf nehmen, ähnliche Verwüstungen wie die heftigsten Sturmwinde an, während im Uebrigen nicht selten völlige Windstille stattfindet.

Wir heben als Beispiel eine Windhose heraus, welche am 23. April des Jahres 1800 nach der Beschreibung von Lampadius im sächsischen

Erzgebirge, in der Nähe des Städtchens Hainichen, in einer Breite von etwa 60 Schritten und in der Länge einer Meile, in der Zeit von 7 bis 8 Minuten bedeutende Verheerungen anrichtete, während außerhalb der Grenze dieses eine Meile langen und 60 Schritt breiten Streifens Windstille herrschte. In mehreren Dörfern, über welche das Meteor seinen Weg nahm, wurden Häuser oder Dächer weggerissen, ja selbst massive Wohngebäude zertrümmert, die stärksten Bäume ausgerissen oder abgebrochen, und in wenig Augenblicken war durch einen Wald eine Allee in der Breite von etwa 60 Schritt hergestellt. Ein Knecht und zwei Pferde wurden von der Windhose emporgehoben und ersterer in einen Hohlweg, letztere in ein Gesträuch geschleudert. In einem Dorfe beobachtete eine Bäuerin aus dem Fenster ihrer Wohnung, wie eine benachbarte Scheune von der Windhose niedergerissen wurde, ohne daß sie selbst etwas von dem Winde empfand.

Die Ursachen, durch welche wirbelartige Stürme, die von den Wirbeln, welche wir häufig bei schwüler, windstiller Witterung Staub, Strohhälmchen u. dgl. von der Oberfläche der Erde emporheben sehen, wohl nur in der Stärke und Ausdehnung verschieden sind, können ohne Zweifel höchst mannigfaltiger Art sein. Wenn wir so häufig im Wasser Wirbel antreffen, um wie viel leichter müssen dieselben nicht in einem noch unvergleichlich beweglicheren Elemente, wie die Luft, entstehen können?

Endlich führen wir in Betreff der Winde noch an, daß selbst ausgedehnte Feuersbrünste zu mehr oder minder erheblichen Luftströmungen Veranlassung geben können. Es kann daher nicht befremden, wenn wir so häufig erzählen hören, daß bei dem Beginne eines Feuers kein oder nur ein sehr schwacher Wind zu spüren war, mit der weiteren Ausbreitung desselben aber auch der Wind mehr und mehr an Stärke zunahm. Ins Besondere hat man in Nordamerika, wenn an ganz windstillen Tagen zur Ausrottung der Urwälder große Massen gefällten Holzes angezündet wurden, die Entstehung heftiger Wirbelwinde beobachtet, welche dünne gefällte Bäume und starke Bündel von Reisig bis zu beträchtlicher Höhe emporhoben und eine Strecke weit fortschleuderten.

Nutzen der Winde.

So groß die Verwüstungen sind, welche einerseits heftige Winde anrichten, eben so mannichfaltig ist andererseits auch wieder der Nutzen derselben. Da wir die wohlthätigen Wirkungen der Winde im Allgemeinen als bekannt voraussetzen dürfen, so beschränken wir uns darauf, auf ein vielleicht minder beachtetes Verhältniß hinzuweisen. Indem der Polarstrom beständig kalte Luft aus den höheren Breiten nach dem Aequator hin, der Aequatorealstrom warme Luft vom Aequator nach den Polen hinführt, wird durch ersteren die Hitze der tropischen Gegenden, durch letzteren die Kälte der arktischen Regionen gemildert.

Strömungen im Meere.

Ganz ähnliche Strömungen, wie in der Atmosphäre, müssen zu Folge der oben für diese entwickelten Gründe auch im Meere stattfinden. Auch hier muß beständig an der Oberfläche das warme Wasser von dem Aequator nach den Polen und das kalte Wasser in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator strömen. Dennoch ist es bis jetzt noch nicht gelungen, das Vorhandensein der oberen Strömungen durch directe Beobachtungen nachzuweisen. Wir bemerken hierzu, daß erstens diese Strömungen an sich, verglichen mit den durch die Ungleichheit der Temperatur in der Atmosphäre hervorgerufenen Strömungen, nur schwach sein können, da das Wasser soviel weniger, als die Luft durch die Wärme ausgedehnt wird. Hierzu kommt

ferner, daß die Küsten des festen Landes den Lauf dieser Strömungen hemmen oder nach einer anderen Richtung ablenken, vor Allem aber, daß eine Menge von anderen und stärker wirkenden Ursachen, ins Besondere Ebbe und Fluth die Meeresgewässer in Bewegung setzen, eben so Winde das Wasser an der Oberfläche des Meeres vor sich hertreiben und Strömungen veranlassen, durch welche der obere Strom von dem Aequator nach den Polen hin verdunkelt oder gänzlich aufgehoben wird.

Directe Beobachtungen über den Polarstrom in der Tiefe anzustellen, würde natürlich mit großen Schwierigkeiten verbunden sein. Dagegen fehlt es nicht an Erfahrungen, welche das Vorhandensein dieser Strömung des kalten Wassers von den Polen nach dem Aequator hin bekunden. Ueberall in der heißen Zone und selbst unter dem Aequator, wo das Meerwasser an der Oberfläche eine Temperatur von 25^0 zeigt, findet man in beträchtlichen Tiefen kaltes Wasser, dessen Temperatur die des Eispunktes nur um wenige Grade übersteigt. Auf diese Art können Seethiere, welche nur in kalten Gewässern auszudauern vermögen, von den Polarmeeren in der Tiefe bis zu dem Aequator vordringen, indem sie hier Wasser von einer ihnen zusagenden Temperatur antreffen.

Eine andere Erscheinung, durch welche sich die untere Strömung des kalten Wassers zu erkennen giebt, ist die von Seefahrern häufig gemachte Erfahrung, daß die Temperatur des Meerwassers über Untiefen eine plötzliche Verminderung erleidet. Es erklärt sich dieses daraus, daß die kalten Gewässer der Tiefe an der Untiefe gleichsam wie an einer schiefen Ebene emporsteigen und so bis an die Oberfläche des Meeres gelangen.

Wir haben bisher nur von der einen Wirkung der Wärme, nehmlich der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, gehandelt. Eine zweite, noch merkwürdigere Wirkung, welche die Wärme auf die Körper ausübt, besteht in der Aenderung des Aggregatzustandes. Feste Körper können durch die Erhöhung der Temperatur in den flüssigen, flüssige in den luftförmigen Zustand übergeführt werden, und eben so kehren bei verminderter Temperatur die luftförmigen Körper wieder in den flüssigen, die flüssigen in den festen Zustand zurück. Aenderung des Aggregatzustandes.

Hierbei tritt allemal der eigenthümliche Umstand ein, daß, so lange dieser Uebergang dauert, die Temperatur keine Aenderung erleidet. Bringen wir z. B. an einem kalten Wintertage ein Gefäß mit Schnee in die geheizte Stube und stecken in den Schnee ein Thermometer, so wird dieses, wenn die äußere Luft und daher auch der außen gesammelte Schnee eine niedrige Temperatur hat, zuerst bis mehrere Grade, wir wollen annehmen, bis 10 Grad unter Null herabgehen, dann, indem der Schnee in der Stube sich allmählig erwärmt, von — 10 Grad bis Null steigen.

So wie das Thermometer aber diesen Punkt erreicht hat, fängt der Schnee an sich in Wasser zu verwandeln, und das Thermometer bleibt nun während der ganzen Dauer dieser Umwandlung unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange, bis aller Schnee geschmolzen ist. Ist dieses geschehen, aller Schnee zu Wasser geworden, so nimmt auch die Temperatur des Wassers wieder zu, bis sie allmählig die Temperatur der Luft in der Stube erreicht.

Bringen wir jetzt unter dem Gefäß ein Feuer an, so wird die Temperatur des Wassers auf's Neue steigen; aber sie fährt hiermit nur so lange fort, bis das Thermometer 100 Grad zeigt und das Wasser in's Sieden kommt. Dann tritt auf's Neue in dem Steigen des Thermometers ein

Stillstand ein; dasselbe bleibt unveränderlich auf 100 Grad stehen, die ganze Zeit hindurch, während welcher das Wasser siedet.

Latente Wärme der flüssigen Körper.

Sowohl während des Schmelzens, als während des Siedens des Wassers wird demselben beständig Wärme zugeführt. Durch diese Wärme wird aber keine Temperaturerhöhung bewirkt; dieselbe wird vielmehr lediglich zur Verwandlung des Aggregatzustandes verwendet. Man nennt diese Wärme, weil sie am Thermometer nicht sichtbar wird, latente oder gebundene Wärme. Die Wärme, welche beim Schmelzen eines Pfundes Eis oder Schnee gebunden wird, ist so beträchtlich, daß dieselbe Wärmemenge im Stande sein würde, ein Pfund Eis von Null Grad bis 80 Grad (ohngefähr) zu erwärmen.

Man kann dieses zeigen, indem man ein Pfund Eis von Null Grad mit einem Pfunde Wasser von 80 Grad vermischt. Man erhält dann zwei Pfund Wasser von Null Grad. Das Pfund Wasser von 80 Grad hat also volle 80 Grad Wärme an das Pfund Eis von Null Grad abgegeben, und diese Wärme hat eben ausgereicht, das Eis in Wasser zu verwandeln; eine Temperaturerhöhung hat nicht stattgefunden.

Wir sehen hieraus, daß in einem Pfunde Wasser von Null Grad doch noch 80 Grad mehr Wärme, als in einem Pfunde Eis von Null Grad enthalten, aber allerdings in der Art latent oder gebunden sind, daß sie sich an dem Thermometer nicht zu erkennen geben.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen des Eises gebunden wird, wird beim Frieren des Wassers wieder frei. Wenn ein Pfund Wasser von Null Grad friert, so giebt es an seine kälteren Umgebungen — wenn diese wärmer wären, würde das Frieren des Wassers gar nicht möglich sein — eine solche Menge Wärme ab, welche im Stande ist, die Temperatur eines Pfundes Wassers um 80° zu erhöhen. Man kann sich von der Richtigkeit dieser Behauptung auf folgende Art überzeugen:

Wenn man bei strenger Winterkälte Wasser in einem Gefäße im Freien aufstellt und dasselbe sorgfältig gegen jede Erschütterung schützt (zur Abhaltung des Luftzuges mit etwas Oel übergießt), so kann es geschehen, daß ein in das Wasser eingesenktes Thermometer bis mehrere Grade unter Null herabgeht, ohne daß das Wasser friert. Bei der geringsten Erschütterung aber erstarrt plötzlich ein Theil des Wassers zu Eis und das Thermometer steigt auf Null Grad. Nehmen wir an, daß die Temperatur des Wassers bis auf — 10 Grad herabgegangen war, und daß das Gewicht des Wassers 8 Loth beträgt, so verwandelt sich bei der Erschütterung nur ein Loth in Eis, die ganze Masse von 8 Loth erwärmt sich aber um 10 Grad. Das eine Loth Wasser hat also bei seiner Umwandlung in Eis so viel Wärme abgegeben, um die Temperatur der ganzen Masse von 8 Loth um 10 Grad zu erhöhen; diese Wärmemenge müßte daher ein Loth Wasser um 80 Grad zu erwärmen im Stande sein.

Die latente Wärme des Wassers ist im Haushalte der Natur von nicht geringem Einflusse. Sie hemmt im Winter das Frieren der Gewässer, indem denselben erst 80 Grad Wärme entzogen sein müssen, ehe sie zu Eis erstarren können. Eben so verzögert dieselbe andererseits bei eintretendem Thauwetter das Schmelzen des Eises, da hierzu eine Wärmemenge von 80 Grad erforderlich ist.

Die Landleute machen von der latenten Wärme des Wassers einen nützlichen Gebrauch. Um das Eindringen des Frostes im Winter in die

Keller zu hindern, stellen sie in denselben Gefäße mit Wasser auf, welches, wenn die Temperatur der Umgebung unter Null Grad herabgeht, an diese 80 Grad Wärme abgeben kann, ehe es selbst zu Eis erstarrt, und so ein tiefes Sinken der Temperatur der umgebenden Körper unter Null Grad verhindert.

Das eben für das Wasser und Eis Vorgetragene gilt auch von allen anderen festen und flüssigen Körpern. Allemal wird beim Uebergange eines flüssigen Körpers in den festen Zustand Wärme frei und beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden.

Das Erstere zeigt sich in einer allgemein bekannten, doch darum nicht minder auffallenden Erscheinung. Wenn gebrannter Kalk mit Wasser übergossen wird, so entsteht eine starke Erhitzung, indem sich nehmlich zwischen dem Kalke und dem Wasser eine chemische Verbindung in Form eines festen Körpers bildet, also das Wasser aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeführt und daher der allgemeinen Regel gemäß Wärme frei wird.

Umgekehrt muß Wärme gebunden werden, also eine Erniedrigung der Temperatur eintreten, wenn ein fester und ein flüssiger oder zwei feste Körper sich chemisch verbinden und die Verbindung die flüssige Form hat.

Man benutzt dies, um auf künstlichem Wege Kälte zu erzeugen. Mischt man z. B. ein Pfund Kochsalz mit drei Pfund Schnee von Null Grad, so vereinigen sich der Schnee und das Salz wegen ihrer starken chemischen Anziehung zu einer flüssigen Masse, und die Temperatur derselben sinkt bis beinahe 18 Grad unter Null. — Eine noch viel stärkere Abkühlung (von Null bis — 48 Grad) geben 3 Theile Schnee und 4 Theile salzsaurer Kalk. Künstliche Kälte.

Bei den beiden angegebenen Mischungen wurde schon das Vorhandensein von Eis oder Schnee vorausgesetzt. Man kann jedoch auch ohnedieß ein Herabgehen der Temperatur unter Null Grad bewirken. Wenn man z. B. 5 Theile Salmiak, 5 Theile Salpeter und 16 Theile Wasser von 10 Grad (über Null) vermischt, so sinkt die Temperatur der Mischung bis auf 12 Grad unter Null. Die Zuckerbäcker machen von dieser Mischung Gebrauch, um im Sommer Eis zu bereiten.

Je mehr die zu vermischenden Substanzen vorher abgekühlt worden sind, um so stärker ist auch die durch die Mischung zu erreichende Kälte. — Noch unvergleichlich niedrigere Temperaturen, als auf dem Wege der Mischung, werden durch die Verdunstung flüssiger Substanzen hervorgebracht, wovon weiter unten ausführlicher die Rede sein wird.

So wie nehmlich beim Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dieses in noch viel beträchtlicherem Maaße beim Uebergange eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand statt. Die Wärme, welche gebunden wird, wenn Wasser beim Sieden sich in Dampf verwandelt, beträgt mehr, als 500 Grad. Man findet dieselbe, wenn man eine abgewogene Menge Wasser zum Sieden bringt, die entwickelten Dämpfe durch ein Rohr leitet, welches durch ein Gefäß mit kaltem Wasser hindurch geführt ist und in demselben mehrere schlangenförmige Windungen macht, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche das ebenfalls abgewogene Wasser in dem Gefäße dadurch erfährt, daß die durch das Rohr gehenden Dämpfe, indem sie in Folge der Abkühlung sich condensiren, ihre latente Wärme abgeben. Latente Wärme der Dämpfe.

Während aber der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand an eine ganz bestimmte Temperatur gebunden ist, gehen die flüssigen Körper nicht blos beim Sieden, sondern bei jeder beliebigen, unter dem Siedepunkte Die Verdunstung.

liegenden Temperatur in den luftförmigen Zustand über. Wir benennen diese Erscheinung mit dem Namen Verdunstung. Eine Folge derselben ist das Austrocknen der Wege, das Trocknen der Wäsche u. dgl. m.

Wenn wir ein Gefäß mit Wasser in eine Stube stellen, so vermindert sich das Wasser mehr und mehr, bis dasselbe zuletzt gänzlich verschwunden ist. Das Wasser ist allmählig in den luftförmigen Zustand übergegangen; es hat sich in Dämpfe verwandelt, welche sich mit der Luft vermischt haben. Diese Umwandlung geschieht um so rascher, je höher die Temperatur der Flüssigkeit ist, und sie erfolgt am raschesten beim Sieden.

Zwischen dem Sieden und der Dampfbildung bei niedrigeren Temperaturen besteht überdieß noch ein wesentlicher Unterschied darin, daß bei diesem die Flüssigkeit nur an der Oberfläche Dampfgestalt annimmt, beim Sieden aber sich auch Dampfblasen im Inneren bilden, welche die das Sieden charakterisirende eigenthümliche Erscheinung des Aufwallens hervorbringen.

Dämpfe im luftleeren Raume.

Der Grund dieser Verschiedenheit wird sich uns deutlich ergeben, wenn wir uns vorher mit dem Verhalten, welches die Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen im luftleeren Raume zeigen, bekannt machen.

Zu diesem Zwecke kann das folgende einfache Verfahren dienen: In den luftleeren Raum eines Gefäßbarometers, Fig. 149, wird etwas Wasser gebracht, was leicht geschehen kann, da das Wasser wegen seines geringeren specifischen Gewichtes in dem Quecksilber emporsteigt. Man sieht dann das in die Torricelli'sche Leere gelangende Wasser, indem dasselbe in Dampf verwandelt wird, sich rasch vermindern und zugleich das Quecksilber in Folge des Druckes dieser Dämpfe fallen. Die Zahl der Linien, um welche das Quecksilber gefallen ist, giebt die Elasticität der gebildeten Dämpfe an.

(Fig. 149.)



Dieselbe hängt nicht von der Menge des in die Torricelli'sche Leere gelangenden Wassers ab, wenn diese Menge nur überhaupt nicht allzu gering ist. Das Quecksilber im Barometer behält seinen Stand unverändert bei, wenn man zu dem in der Torricelli'schen Leere vorhandenen Wasser noch mehr Wasser emporsteigen läßt. Es fällt dagegen aufs Neue, die Menge und Elasticität der in der Torricelli'schen Leere vorhandenen Dämpfe wird vermehrt, so wie die Temperatur erhöht wird.

Um diese letztere mit Genauigkeit bestimmen zu können, wird der ganze Apparat in einen mehrere Fuß hohen gläsernen Cylinder gesenkt, welcher mit Wasser gefüllt ist, das sich durch ein darunter angebrachtes Feuer zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß mit der Erhöhung der Temperatur die Dichte und Elasticität der Dämpfe sehr rasch zunimmt. So beträgt die Elasticität des Wasserdampfes z. B.

bei	Null	Grad	etwa	2	Par.	Linien,
"	20	"	"	8	"	"
"	40	"	"	2	"	Zoll,
"	60	"	"	$5^1/_2$	"	"
"	80	"	"	13	"	"
"	100	"	"	28	"	"

Während also bei einer Temperaturerhöhung von Null bis 20 Grad die Elasticität des Dampfes nur um 6 Linien zunimmt, wächst dieselbe, wenn die Temperatur von 80 auf 100 Grad erhöht wird, um 15 Zoll. Weiter zeigt die vorstehende Tabelle, daß die Elasticität der Dämpfe bei 100 Grad gerade dem Luftdrucke gleich ist. Bei noch höheren Temperaturen übersteigt sie denselben und wächst auch hier mit der Zunahme der Temperatur in einem sehr raschen Verhältnisse. Sie steigt nehmlich

bei	120	Grad	ohngefähr	auf	den	2fachen	Luftdruck.
"	140	"	"	"	"	$3^1/_2$ "	"
"	160	"	"	"	"	6 "	"
"	180	"	"	"	"	10 "	"
"	200	"	"	"	"	15 "	"

Von diesen letzteren Bestimmungen, welche für unseren gegenwärtigen Zweck eine geringere Wichtigkeit haben, wird in einem später folgenden Artikel, die Dampfmaschine betreffend, ausführlicher gehandelt werden.

Wie schon oben bemerkt, hängt die Elasticität und die Menge der Dämpfe, welche sich in einem Raume bilden können, von der Temperatur dieses Raumes ab. Sind in einem Raume so viel Dämpfe vorhanden, als derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag, so heißt derselbe mit Dämpfen gesättigt. Erleidet die Temperatur eines mit Dämpfen gesättigten Raumes eine Erniedrigung, so vermindert sich auch die Menge der in demselben vorhandenen Dämpfe, indem ein Theil derselben sich zu tropfbarem Wasser verdichtet.

Je höher die Temperatur eines mit Dämpfen erfüllten Raumes ist, um so größer ist auch die Elasticität der Dämpfe und der Druck, welchen dieselben auszuhalten vermögen, wovon die obigen Angaben einige Beispiele enthalten. Versucht man aber die Dämpfe einem noch stärkeren Drucke zu unterwerfen, so verwandeln sich dieselben wieder in tropfbares Wasser.

Man sieht hieraus, daß einer bestimmten Temperatur auch ein bestimmtes Maximum der Dichte und Expansivkraft der Dämpfe entspricht, welches sich auf keine Weise überschreiten läßt. Die atmosphärische Luft läßt sich, so weit unsere Erfahrung reicht, bei jeder Temperatur beliebig zusammendrücken und verdichten. Die Dämpfe dagegen vermögen bei einer bestimmten Temperatur auch nur einen bestimmten Druck auszuhalten; wird dieser Druck überschritten, so hören die Dämpfe als solche auf zu existiren, sie verwandeln sich in tropfbar flüssiges Wasser.

Durch das Vorhergehende erhalten wir nun auch vollständigen Aufschluß über die Erscheinungen des Siedens, warum dasselbe an eine bestimmte Temperatur gebunden ist, und warum sich diese mit dem Luftdrucke ändert. Sobald nehmlich die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß die Elasticität der sich bildenden Dämpfe dem Luftdrucke gleich ist, und also die Dämpfe den Luftdruck auszuhalten vermögen, so können sich auch im Inneren der Flüssigkeit Dämpfe bilden. Je größer aber der Luftdruck ist, um so höher muß natürlich auch die Temperatur steigen, ehe die Dämpfe eine dem Luftdrucke gleichkommende Elasticität erlangen. Ist diese Temperatur noch nicht erreicht, so werden sich im Inneren der Flüssigkeit keine Dämpfe bilden können; eine hier entstehende Dampfblase würde, da ihre Elasticität noch nicht eine dem Luftdruck gleiche Größe erreicht hat, sofort wieder zerdrückt werden, sich zu flüssigem Wasser verdichten. Das Sieden.

An der Oberfläche können sich dagegen auch bei niedrigeren Temperaturen, bei denen die Elasticität der Dämpfe dem Luftdruck noch nicht gleich kommt, Dämpfe bilden, weil sich dieselben hier mit der atmosphärischen Luft vermischen und in Verbindung mit dieser, welche ja schon für sich allein den Luftdruck auszuhalten vermag, diesen Druck zu erleiden haben.

Da beim Sieden alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme lediglich zur Dampfbildung verwendet wird, so ist es nicht möglich, Wasser in einem offenen Gefäße zu einer höheren Temperatur, als bis zum Siedepunkte zu erwärmen. Will man Wasser bis zu einer höheren Temperatur erhitzen, so muß man dieß in einem verschlossenen Gefäße thun, indem in diesem der Druck der erzeugten Dämpfe die weitere Dampfbildung beschränkt. In einem solchen Topfe, welcher nach seinem Erfinder Papin benannt wird, werden die Speisen viel rascher weich, und selbst solche, welche in siedendem Wasser nicht zu erweichen sind. Ueberdieß wird an Brennmaterial bedeutend gespart, da beim Sieden eine große Menge Wärme zur Bildung von Dämpfen verwendet wird, welche, wie schon oben erwähnt, bei ihrer Entstehung mehr, als 500 Grad Wärme aufnehmen.

Der Papin'sche Topf muß jedoch, um die Gefahr des Zerplatzens zu vermeiden, mit einem Sicherheitsventile versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Dämpfe eine zu hohe Elasticität erreichen.

Da auf hohen Bergen der Luftdruck geringer ist, als im Thale, so kommt das Wasser auf jenen schon bei niedrigerer Temperatur ins Sieden. So läßt sich in dem Hospiz auf den St. Bernhard in einem offenen Topfe Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil hier das Wasser schon bei 92 Grad siedet, indem in der Höhe von 7700 Fuß der Luftdruck nur noch 20 Zoll beträgt. Unter der Luftpumpe läßt sich lauwarmes, überhaupt Wasser von jeder beliebigen Temperatur ins Sieden bringen, wenn die Luft im Recipienten rasch genug verdünnt und also der Druck derselben hinreichend vermindert wird.

Es folgt aber aus diesem Versuche, daß wir das Vorhandensein des flüssigen Wassers auf der Erde überhaupt lediglich dem Drucke der Atmosphäre zu danken haben. Hörte dieser Druck plötzlich auf, so würden unsere Flüsse, Teiche, alle Seen und Meere unter heftigem Sieden sich in Dampf verwandeln, und nur der Druck der entstandenen Dampfatmosphäre würde der ferneren Dampfbildung und dem Sieden eine Grenze setzen.

Der Leidenfrost'sche Versuch.

Während die Dichte und Elasticität der Dämpfe mit der Temperatur rasch zunimmt, die Dampfbildung um so schneller vorangeht, je mehr Wärme der Flüssigkeit zugeführt wird, das Wasser in einem Gefäße um so heftiger siedet, ein je kräftigeres Feuer unter demselben angebracht ist, zeigt dagegen Wasser mit glühendem Metalle in Berührung gebracht ein höchst auffallendes abweichendes Verhalten. Gießt man nehmlich auf ein glühendes Blech etwas Wasser, so formt sich dasselbe in ähnlicher Art wie Quecksilber auf Glas in kugelförmige Tropfen, welche auf dem glühenden Metalle hin und her rollen. Hört das Metall auf zu glühen und vermindert sich die Temperatur bis auf einen gewissen Grad, so wird unter plötzlicher Dampfbildung das Wasser umher geschleudert.

Man erklärt diese Erscheinungen, welche unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuches bekannt sind, am einfachsten dadurch, daß bei der Glühhitze sich Dämpfe von einer äußerst hohen Elasticität bilden, welche den Wassertropfen wie eine Atmosphäre umhüllen und die unmittelbare Berührung mit dem Metalle verhindern. Erst wenn bei einer niedrigeren Tem-

peratur sich die Elasticität der Dämpfe vermindert hat, kommt der Tropfen mit dem noch immer stark erhitzten Metall in eine innigere Berührung und wird in Folge der großen Menge Wärme, welche er von dem berührten Metall empfängt, plötzlich in Dampf verwandelt.

Noch überraschender und erstaunenswerther ist die Erscheinung, welche Arbeitern in Schmelzhütten schon seit den ältesten Zeiten bekannt ist, aber von den Physikern fast vergessen, in neuerer Zeit besonders durch Boutigny wieder in Anregung gebracht worden ist, daß Menschen, ohne sich zu verletzen, die Hände in frisch geschmolzenes Metall tauchen oder über frisch gegossene, noch glühende Eisenmassen mit bloßen Füßen gehen können. Diese auffallende Erscheinung, welche zugleich die Erzählungen des Mittelalters über Feuerproben nicht mehr als bloße Mährchen, wofür sie die spätere aufgeklärte Zeit so vielfach ausgegeben hat, erscheinen läßt, findet wahrscheinlich darin ihre Erklärung, daß bei dem Eintauchen der Hand in das geschmolzene Metall eine starke Verdunstung eintritt und sich um die Hand eine Dampfatmosphäre von so starker Elasticität bildet, daß sie die Berührung der Hand mit dem geschmolzenen Metall verhindert.

Uebrigens erfordern derartige Versuche denn doch Vorsicht; das Metall, in welches man die Hand taucht, darf nicht dickflüssig, dem Uebergange in den festen Zustand nahe sein. Auch werden die Spitzen der Nägel und die Haare an den Händen abgesengt. Gefahrloser und das Nehmliche beweisend, kann man den Versuch in der Art anstellen, daß man einen angefeuchteten Fingerhandschuh über ein rundes Holz zieht und denselben in das geschmolzene Metall taucht. Derselbe wird unversehrt wieder herausgezogen.

Wie wir oben ausführlicher gezeigt haben, bilden sich beim Sieden so- Verdunstungskälte.
wohl an der Oberfläche des Wassers, als im Inneren, Dämpfe; bei niedrigeren Temperaturen dagegen findet nur an der Oberfläche Dampfbildung statt. Zwischen diesen und den beim Sieden sich bildenden Dämpfen ist kein wesentlicher Unterschied und nur insofern eine Verschiedenheit vorhanden, als die bei höherer Temperatur entstehenden Dämpfe eine größere Dichte und Elasticität besitzen.

Wie ebenfalls schon oben bemerkt, ist, um Wasser, welches bereits die Temperatur von 100 Grad erlangt hat, in Dampf von der nehmlichen Temperatur zu verwandeln, mehr als fünfmal so viel Wärme erforderlich, als hinreicht, Wasser von Null bis 100 Grad zu erwärmen, oder wie wir uns kurz ausdrücken, es werden bei dieser Umwandlung über 500 Grad Wärme gebunden. Eine nicht geringere Wärmemenge wird auch dann gebunden, wenn das Wasser bei niedrigeren Temperaturen allmählig in Dampf übergeht.

Ist unter einem Gefäß mit Wasser Feuer angebracht, so giebt dieses die erforderliche Wärme zunächst an das Gefäß und das Gefäß dann weiter an das verdampfende Wasser ab. Verdunstet dagegen das Wasser allmählig bei einer niedrigeren Temperatur, so wird die zur Dampfbildung nöthige Wärme dem zurückbleibenden Wasser, überhaupt den mit dem verdampfenden Wasser in Berührung stehenden Körpern entzogen. Es müssen daher diese Körper, da die Menge der gebundenen Wärme so äußerst beträchtlich ist, eine erhebliche Erniedrigung ihrer Temperatur erleiden

In der That lehren unzählige Erfahrungen, daß mit jeder Verdunstung eine beträchtliche Abkühlung derjenigen Körper, welche mit dem verdunstenden Wasser in Berührung stehen, verbunden ist. Ja man benutzt vortheilhaft

diese Verdunstungskälte, um Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit Tüchern, welche man beständig feucht hält, umgiebt. — In Spanien wird das Wasser in porösen Thongefäßen aufbewahrt; indem es fortwährend durchsickert und an der Oberfläche der Gefäße verdunstet, werden diese kühl erhalten. — Auf gleichem Grunde beruht die Kälte, welche wir empfinden, wenn wir aus dem Bade steigen. — Eine sehr wohlthätige Abkühlung der Haut bewirkt der in der Hitze reichlich aus derselben hervordringende und verdunstende Schweiß. Befinden wir uns in einer warmen, ganz mit Dämpfen gesättigten Atmosphäre — wir nennen in diesem Falle die Luft schwül —, so, daß keine Verdunstung stattfinden kann, so haben wir weit mehr von der Hitze zu leiden, als in trockener Luft, in welcher durch rasche Verdunstung des hervorbrechenden Schweißes die Haut fortwährend abgekühlt wird.

Die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche erfolgt natürlich am stärksten in der heißen Zone. Indem die warme, durch die Ausdunstung der tropischen Meere mit Dämpfen geschwängerte Luft, wie wir oben gesehen haben, vom Aequator beständig nach den Polen hinströmt, condensiren sich in Folge der Abkühlung in den höheren Breiten die Dämpfe und fallen als Regen nieder. Nun werden aber bei der Verdunstung des Wassers, bei dem Uebergange des flüssigen Wassers in den luftförmigen Zustand, mehr als 500 Grad Wärme gebunden, und da die nehmliche Wärmemenge bei der Condensation der Dämpfe zu flüssigem Wasser wieder frei wird, so tragen die angegebenen Verhältnisse wesentlich dazu bei, die Hitze der tropischen Gegenden zu mäßigen und die Temperatur der vom Aequator entfernteren Gegenden zu erhöhen, indem jenen zugleich mit den gebildeten Dämpfen eine große Wärmemenge entführt und den höheren Breiten, in welchen sich die Dämpfe condensiren und als Regen niederfallen, zugeführt wird.

Die durch Verdunstung des Wassers bewirkte Kälte kann unter günstigen Umständen selbst bis unter den Eispunkt herabgehen. Die Bewohner des heißen Ostindiens benutzen dieselbe, um sich in größeren Mengen Eis zu verschaffen. Sie bedecken zu diesem Zwecke ein Feld mehrere Zoll hoch mit Stroh und stellen auf dasselbe Tausende poröser, mit Wasser gefüllter Gefäße. In kühlen Nächten bekleidet sich das Wasser, besonders gegen Morgen, wo gewöhnlich ein sich erhebender Wind die Verdunstung befördert, oft mit einer fast einen Zoll dicken Eisdecke.

So wie bei dem Uebergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand Wärme gebunden wird, so gilt das Nehmliche auch von allen anderen Flüssigkeiten. Doch ist die Menge dieser Wärme für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden; sie beträgt z. B. für den Alkohol, wasserfreien Spiritus, etwa 200 Grad, für Schwefeläther 100 Grad.

Wiewohl nun diese beiden Flüssigkeiten bei dem Uebergange in den luftförmigen Zustand viel weniger Wärme binden, als Wasser, so ist doch die Kälte, welche durch die Verdunstung des Alkohols, ganz besonders aber des Schwefeläthers bei der gewöhnlichen Lufttemperatur hervorgebracht wird, viel beträchtlicher, indem der Siedepunkt dieser Flüssigkeiten niedriger, als der des Wassers liegt und dieselben daher rascher, als dieses verdunsten. Es siedet nehmlich der Alkohol bei 78^0, der Schwefeläther bei 35^0. Die bloße Blutwärme reicht also schon hin, den letzteren ins Sieden zu bringen.

Umwickelt man die Kugel eines Thermometers mit Musselin, tröpfelt auf diesen etwas Schwefeläther, und befördert man die Verdunstung durch Luftzug, welchen man etwa vermittelst eines Fächers hervorbringt, so kann

man mitten im Sommer oder zur Winterszeit in der geheizten Stube das Thermometer bis mehrere Grade unter den Eispunkt herabgehen sehen.

Eine noch weit stärkere Abkühlung, die höchsten Grade künstlicher Kälte, welche überhaupt bis jetzt erhalten worden sind, werden hervorgebracht, wenn zu Flüssigkeit condensirte Gase verdunsten, wieder in den luftförmigen Zustand übergehen.

Condensation der Gase.

Wie wir im Vorhergehenden ausführlich gezeigt haben, vermögen die Dämpfe des Wassers — und dasselbe gilt eben so von den Dämpfen anderer Flüssigkeiten — bei einer bestimmten Temperatur nur einen bestimmten Druck auszuhalten; wird dieser Druck überschritten, so gehen dieselben aus dem luftförmigen Zustande in den flüssigen über. Für die Dämpfe des Wassers und überhaupt derjenigen Körper, welche sich uns für gewöhnlich im flüssigen Zustande zeigen, reicht zur Verdichtung bei der gewöhnlichen Lufttemperatur schon ein geringer Druck aus, welcher noch nicht einmal dem Drucke der Atmosphäre gleichkommt.

Andere luftförmige Körper, zu deren Verdichtung bei der gewöhnlichen Temperatur ein stärkerer Druck, als der Luftdruck erforderlich ist, treffen wir eben deshalb für gewöhnlich im luftförmigen Zustande an; wir vermögen nur auf künstlichem Wege, entweder durch sehr starken Druck oder durch künstlich erregte sehr große Kälte, dieselben in den flüssigen Zustand überzuführen.

Die luftförmigen Körper der letzteren Art, welche bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, auch wenn sie den vollen Luftdruck auszuhalten haben, den luftförmigen Zustand beibehalten, pflegt man Gase, die der ersteren Art aber, welche bei der gewöhnlichen Lufttemperatur und einem Drucke, welcher dem Luftdrucke gleich ist oder denselben noch nicht einmal erreicht, zu tropfbarer Flüssigkeit condensirt werden, pflegt man vorzugsweise Dämpfe zu nennen. Es findet also hiernach zwischen Dämpfen und Gasen kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt.

Unsere Leser werden sich zwar erst in einem späteren Abschnitte mit verschiedenen Gasen näher bekannt machen; wir können es jedoch nicht vermeiden, um in Betreff der Condensation der Gase verständlich zu werden, schon hier mit einigen Erörterungen dem Folgenden vorzugreifen.

Die atmosphärische Luft ist kein einfaches Gas, sondern ein Gemenge von zwei Gasen, welche die Namen Sauerstoff und Stickstoff führen. Sie enthält von letzterem ohngefähr $^4/_5$, von ersterem $^1/_5$. Diese beiden Gase machen jedoch nur die beiden Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft aus; außerdem enthält dieselbe noch andere Gase und Dämpfe, aber in einer verhältnißmäßig nur geringen Menge.

Die atmosphärische Luft ist in neuerer Zeit von Natterer und Redtenbacher in Wien dem ungeheuren Drucke von 3600 Atmosphären, d. h. einem Drucke, welcher den Luftdruck 3600 mal überstieg, unterworfen worden, ohne daß es gelungen wäre, dieselbe zu condensiren, in den flüssigen Zustand überzuführen. Eben so wenig ist dies bei den beiden Gemengtheilen derselben, dem Sauerstoffgase und dem Stickstoffgase, wenn dieselben für sich allein zusammengepreßt wurden, der Fall gewesen. — Außer den genannten haben noch ein Paar andere Gase bis jetzt der Verdichtung widerstanden.

Bei weitem die meisten Gase dagegen, welche die Chemie kennen gelehrt hat, gehen, wenn sie einem mehr oder weniger starken Drucke unterworfen

werden, in den flüssigen Zustand über. So z. B. wird das bei der Verwesung organischer, besonders thierischer Körper sich entwickelnde und durch seinen stechenden Geruch ausgezeichnete Ammoniakgas und das Chlorgas, welches durch die Eigenschaft, Pflanzenfarben und Miasmen zu zerstören, ausgezeichnet ist und daher zum Bleichen und bei ansteckenden Krankheiten zum Räuchern benutzt wird, bei der Temperatur von Null Grad und einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären verdichtet. Ein anderes sehr verbreitetes und bekanntes Gas, die Kohlensäure, welche sich beim Gährungsprozesse entwickelt und das Schäumen des Bieres, das Mussiren des Champagners und Selterser Wassers veranlaßt und an manchen Orten, z. B. in der Dunsthöhle bei Pyrmont, in der Hundsgrotte bei Neapel, in großer Menge aus der Erde strömt, verdichtet sich bei dem Drucke von 38 Atmosphären.

In größeren Mengen ist die Kohlensäure zuerst von Thilorier flüssig dargestellt worden. Seine Untersuchungen wurden jedoch dadurch unterbrochen, daß in Folge des starken Druckes das Gefäß platzte und Menschen hierbei das Leben einbüßten. Später sind ähnliche Versuche unter Beobachtung der angemessenen Vorsichtsmaßregeln angestellt worden.

Man verdichtet aber die Gase vermittelst einer Compressionspumpe (vergl. oben S. 44) in einem starken Gefäße, an welchem eine durch einen Hahn verschließbare Oeffnung angebracht ist. Läßt man nach Oeffnung des Hahnes das zur Flüssigkeit verdichtete Gas austreten, so verdunstet dasselbe mit der größten Heftigkeit und erregt hierbei die äußerste Kälte, welche man bis jetzt überhaupt zu erzeugen vermocht hat.

Faraday erhielt als die niedrigste Temperatur durch Verdunstung flüssiger Kohlensäure 110 Grad unter dem Eispunkte. Der absolute Alkohol zeigte sich bei dieser Temperatur dickflüssig wie Oel. In der auf diese Art erhaltenen größten Kälte gehen die zu Flüssigkeit verdichtete Kohlensäure und andere Gase selbst in den festen Zustand über und zeigen dann ein dem Schnee und Eise ähnliches Ansehen.

Die flüssige Kohlensäure kommt schon bei 78 Grad unter dem Eispunkte ins Sieden, d. h. schon bei dieser niedrigen Temperatur haben ihre Dämpfe eine dem einfachen Luftdrucke gleiche Elasticität; bei Null Grad, also beim Eispunkte, ist ihre Elasticität schon dem 38fachen Luftdrucke gleich.

Das noch flüchtigere Stickstoffoxydulgas, dessen sich vorzüglich Dumas bei seinen Versuchen bediente, ein Gas, welches die ausgezeichnete Eigenschaft hat, daß es eingeathmet in ähnlicher Art berauschend wie Champagner wirkt, siedet schon bei 88 Grad unter dem Eispunkte. Im flüssigen Zustande ist dasselbe farblos und durchsichtig; wirft man ein Stückchen Metall in dasselbe, so entsteht ein ähnliches Zischen, wie wenn man glühendes Eisen in Wasser taucht. Quecksilber erzeugt das nehmliche Zischen, erstarrt aber sogleich zu einer harten, spröden, silberweißen Masse.

In hohem Grade überraschend ist ein von Boutigny zuerst mit flüssiger schwefeliger Säure angestellter Versuch. Die schwefelige Säure entwickelt sich allemal in Form eines Gases, wenn Schwefel in der Luft verbrannt wird; wenn sie mit dieser eingeathmet wird, erregt sie heftigen Reiz zum Husten, und sie ist nach dieser üblen Eigenschaft gewiß allen unseren Lesern bekannt.

Das schwefeligsaure Gas siedet schon bei 10 Grad unter dem Eispunkte und wird bei Null Grad und einem Drucke von anderthalb Atmosphären flüssig.

Wenn man nun in einen glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure, welche sich in demselben zu einer kugelförmigen Masse gestaltet, gießt und dann etwas Wasser zusetzt, so gefriert dieses in Folge der Verdunstungskälte der schwefeligen Säure trotz der Glühhitze des Platins und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Ja Faraday hat sogar Quecksilber in einer Mischung aus Schwefeläther und fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel zum Frieren gebracht.

Wir haben zuletzt bei der Erörterung des Ueberganges der flüssigen Körper in den luftförmigen Zustand und des Verhaltens der entwickelten Gase oder Dämpfe unsere Leser mit sehr außergewöhnlichen Erscheinungen unterhalten. Wir werden nun wieder allgemein verbreiteten und bekannten Erscheinungen begegnen, wenn wir weiter von den Dämpfen und Gasen in der gegenseitigen Vermischung handeln. In der That treffen wir insbesondere die Wasserdämpfe bei weitem am häufigsten in der Vermischung mit atmosphärischer Luft an. Wir dürfen es wohl als eine Jedermann bekannte Thatsache ansehen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit mehr oder weniger Wasserdampf enthalten ist. Das Beschlagen der Fensterscheiben zur Winterszeit, im Sommer das Bethauen eines kalten Körpers, z. B. eines Glases an der Außenseite, wenn dasselbe mit kaltem, frisch aus dem Brunnen geschöpften Wasser oder mit Bier, Wein u. dgl., welche frisch aus dem kalten Keller geholt worden sind, gefüllt worden ist und in die wärmere Luft des Wohnzimmers gebracht wird, sind bekannte Erscheinungen, welche auf dem angeführten Umstande beruhen. Dämpfe mit Gasen vermischt.

Von ganz allgemeinem Interesse, aber für den Meteorologen von der äußersten Wichtigkeit ist die Frage nach der Menge der der atmosphärischen Luft beigemengten Dämpfe. Die Methoden zur Beantwortung dieser wichtigen Frage gründen sich auf das von dem Engländer Dalton zuerst aufgestellte und später von anderen Physikern im Wesentlichen bestätigte Gesetz, daß Dämpfe in einem mit Gasen erfüllten Raume, zu denen sie keine chemische Verwandtschaft haben, bei gleicher Temperatur die nehmliche Dichte und Expansivkraft besitzen, wie im luftleeren Raume. Hygrometrie.

Unsere Leser werden sich erinnern, daß wir oben gezeigt haben, daß ein luftleerer Raum bei einer bestimmten Temperatur nur eine gewisse, aber um so größere Menge Dämpfe zu fassen vermag, je höher seine Temperatur ist. Ist ein Raum mit Dämpfen gesättigt, d. h. ist in demselben die volle Menge der Dämpfe wirklich vorhanden, welche derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag, so ist jede Temperaturerniedrigung mit der Condensation eines Theiles der vorhandenen Dämpfe verbunden.

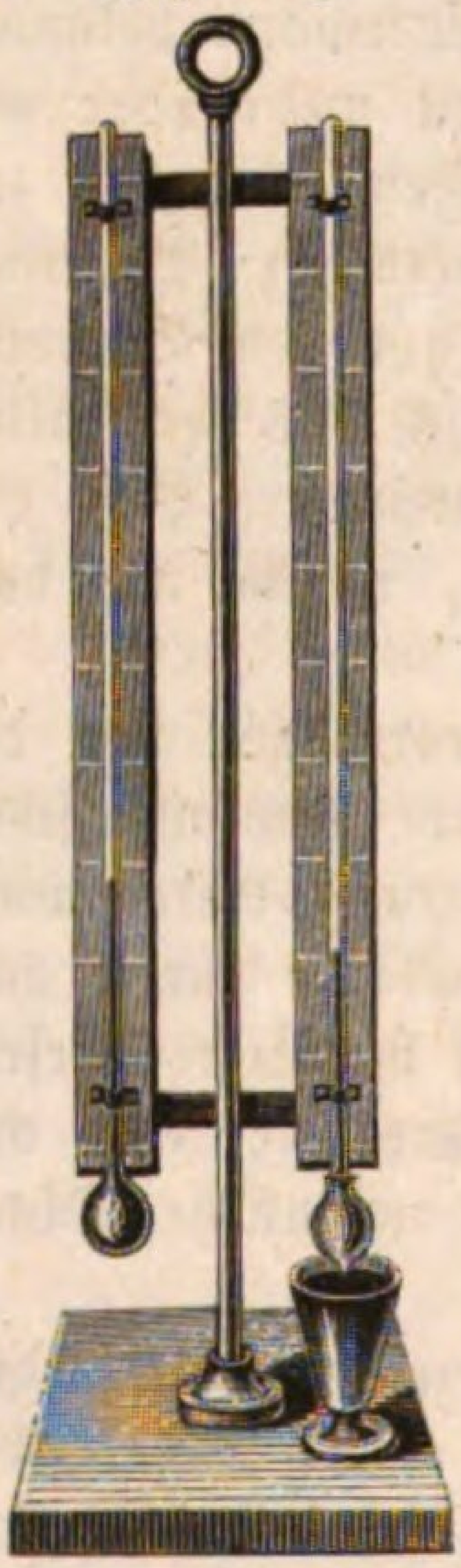
Diese Sätze gelten nun zu Folge des Dalton'schen Gesetzes eben sowohl für den lufterfüllten, als für den luftleeren Raum. Ist die atmosphärische Luft, wie dies z. B. bei sehr feuchter Witterung der Fall ist, mit Dämpfen gesättigt, so ergiebt sich unmittelbar aus der bloßen Temperatur der Luft mit Hülfe der weiter unten anzuführenden Tabelle die Expansivkraft des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes, und hieraus leiten wir dann weiter leicht die Menge dieses Dampfes ab, da derselbe in dem Verhältniß 5 : 8 leichter ist, als atmosphärische Luft von gleicher Elasticität und Temperatur.

Ist aber die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt, so hat man zunächst denjenigen Temperaturgrad aufzusuchen, bei welchem die vorhandene Dampfmenge die Luft eben sättigen würde, so daß bei einem Herabgehen der Temperatur unter diesen Punkt ein Niederschlag eintreten würde. Man findet diesen Temperaturgrad, welchen man den Thaupunkt zu nennen pflegt, indem man einen Körper allmählig so lange abkühlt, bis auf demselben der erste Anflug eines Niederschlages sich zeigt.

Weil aber die directe Bestimmung des Thaupunktes umständlich ist, jede über den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu machende Beobachtung vorher die sorgfältige Ausführung eines besonders anzustellenden Versuches erfordert, so hat August in Berlin ein Instrument angegeben, durch dessen Beobachtung sich auch ohne Kenntniß des Thaupunktes der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermitteln läßt.

Diese mit dem Namen Psychrometer belegte Vorrichtung besteht aus zwei sorgfältig construirten und neben einander aufgehängten Thermometern, Fig. 150. Die Kugel des einen ist mit Musselin umwickelt, welcher in ein Gefäß mit Wasser taucht, und wird, indem das Wasser vermöge der Capillaranziehung in dem Musselin emporsteigt, beständig feucht erhalten.

(Fig. 150.)



Das trockene Thermometer zeigt die wahre Lufttemperatur an; das feuchte Thermometer bleibt dagegen hinter dem trockenen um so mehr zurück, je mehr der Dampfgehalt der Luft von der Sättigung entfernt ist, je mehr die Luft noch Dämpfe aufzunehmen vermag und je rascher folglich die Verdunstung des Wassers in dem die Thermometerkugel einhüllenden Musselin erfolgt. Denn um so größer muß auch die durch diese Verdunstung bewirkte Abkühlung sein. — Nur wenn die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt sein sollte, und also gar keine Verdunstung stattfände, würden beide Thermometer gleich hoch stehen.

Je größer dagegen der Unterschied in dem Stande der beiden Thermometer ist, um so mehr muß die Luft noch Dämpfe aufzunehmen vermögen, um so weiter muß diese in der Luft wirklich vorhandene Dampfmenge von derjenigen, welche dieselbe bei der stattfindenden Temperatur zu fassen vermöchte, entfernt sein.

Man begreift hiernach wohl die Möglichkeit, aus dem Stande der beiden Thermometer, des trockenen und des feuchten, den wirklichen Dampfgehalt der Luft herzuleiten. Um dieß mit mehr Bequemlichkeit ausführen zu können, sind besondere Tabellen berechnet worden. In der ersten der beiden folgenden Tabellen bedeutet t die Temperatur des angefeuchteten Thermometers, e die Elasticität des Wasserdampfes in Pariser Linien, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, und also das trockene Thermometer nicht höher, als das feuchte steht. Die zweite Tabelle giebt dagegen in der mit e' überschriebenen Spalte an, um wie viel die so erhaltene Elasticität e zu vermindern ist, wenn das trockene Thermometer 1, 2, 3 . . . Grade höher steht, als das feuchte. Es bedeutet nehmlich d die Differenz in den Angaben beider Thermometer.

Tafel I.

t	e	t	e	t	e	t	e
0	2,01	8	3,53	16	5,99	24	9,83
1	2,16	9	3,77	17	6,38	25	10,44
2	2,33	10	4,04	18	6,80	26	11,08
3	2,49	11	4,32	19	7,24	27	11,75
4	2,67	12	4,62	20	7,70	28	12,46
5	2,87	13	4,93	21	8,19	29	13,20
6	3,08	14	5,26	22	8,71	30	13,99
7	3,30	15	5,61	23	9,26		

Tafel II.

d	e′
1	0,27
2	0,54
3	0,80
4	1,07
5	1,34
6	1,61
7	1,87
8	2,14
9	2,41
10	2,68

Den Gebrauch dieser Tabellen mag folgendes Beispiel erläutern: Wir wollen annehmen, daß das feuchte Thermometer auf 18 Grad, das trockene Thermometer auf 25 Grad steht; dann ist t = 18 und d = 7. Hiernach ergiebt sich für t = 18 aus der ersten Tabelle e = 6,80
und für d = 7 aus der zweiten Tabelle e′ = 1,87

4,93

Die Elasticität des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes würde also 4,93 oder beinahe 5 Pariser Linien betragen.

Die Angaben des Psychrometers sind jedoch in sofern nicht ganz zuverlässig, als der Stand des feuchten Thermometers von der Stärke des Luftzuges nicht gänzlich unabhängig ist. Man muß daher das Psychrometer an einem gegen zu starken Luftzug geschützten Orte beobachten. Trotz der Unvollkommenheit des Psychrometers ist dasselbe doch das für hygrometrische Beobachtungen am meisten angewendete Instrument, da es bis jetzt den Physikern noch nicht gelungen ist, einen Apparat herzustellen, durch welchen mit gleicher Bequemlichkeit und Sicherheit der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, wie z. B. durch das Thermometer die Wärme, durch das Barometer der Druck der Luft gemessen wird. Wir können indeß die Hoffnung hegen, daß spätere Fortschritte der Wissenschaft zu dem erstrebten Ziele führen werden.

Ein solches Instrument würde nicht bloß für meteorologische Beobachtungen, sondern auch für gewöhnliche Lebensverhältnisse von der größten Wichtigkeit sein. So wie gegenwärtig in Lazarethen, überhaupt in Krankenzimmern der behandelnde Arzt die für die Genesung der Kranken geeignetste Wärme nicht bloß nach seinem Gefühl, sondern nach Thermometergraden beurtheilt, überall zu diesem Zwecke in Krankensälen Thermometer angebracht sind, so würden Beobachtungen eines einfachen und zuverlässigen Hygrometers, welches unmittelbar die relative Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft anzeigte, nicht minder von großer Wichtigkeit sein, da ja durch diese in vielen Krankheiten, ins Besondere in Brustkrankheiten, das Befinden des Patienten wesentlich bedingt wird.

Im Vorhergehenden haben wir gesehen, wie sich mit Hilfe des Psychrometers der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermitteln läßt.

Wir haben jedoch den absoluten von dem relativen Feuchtigkeitsgehalte zu unterscheiden. Unter der absoluten Feuchtigkeit der Luft versteht man nehmlich die in derselben enthaltene Dampfmenge, unter der relativen Feuchtigkeit aber das Verhältniß zwischen der wirklich vorhandenen Dampfmenge und derjenigen, welche die Luft bei der stattfindenden Temperatur zu fassen vermöchte.

Wenn an einem kalten Wintertage die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt ist, und also die relative Feuchtigkeit den höchsten Grad erreicht hat, so würde doch der nehmliche Gehalt an Wasserdämpfen für einen warmen Sommertag nur einen geringen Grad relativer Feuchtigkeit ergeben, da vermöge der beträchtlich höheren Temperatur die Luft auch eine weit größere Menge von Wasserdämpfen zu fassen vermag.

Im gewöhnlichen Leben ist fast nie von der absoluten, immer nur von der relativen Feuchtigkeit der Luft die Rede; und in der That ist dieselbe für viele Verhältnisse von weit wesentlicherem Einflusse, als der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft. So hängt die Stärke der Verdunstung, das Trocknen der Wäsche, das Austrocknen der Wege, das langsamere oder raschere Verdunsten des Schweißes, welches eine angenehme und wohlthätige Abkühlung der Haut in der Hitze bewirkt, nicht von der absoluten, sondern von der relativen Feuchtigkeit der Luft ab.

Nach den hygrometrischen Beobachtungen ist der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Sommer, wo eben wegen der höheren Temperatur die Luft auch mehr Dämpfe zu fassen vermag, größer, als im Winter, am Tage beträchtlicher, als in der Nacht. Die Luft ist dagegen zur Zeit der größten Tageswärme, einige Stunden nach Mittag und im Mai relativ am trockensten, und des Morgens bei Sonnenaufgang, wo sie meist ganz mit Dämpfen gesättigt ist, und der Thau am reichlichsten fällt, und in der Regel im December relativ am feuchtesten.

Nach Dove beträgt die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes für Berlin in den beiden wärmsten Monaten Juli und August im Mittel beinahe 5 Linien, in den beiden kältesten Monaten Januar und Februar dagegen nicht ganz 2 Linien.

Die in der Luft vorhandenen Dämpfe empfängt dieselbe offenbar durch die Verdunstung des an der Erdoberfläche vorhandenen Wassers, vorzüglich der größeren Meere. Was die Binnengewässer und der feuchte Erdboden hierzu beitragen, erscheint dagegen als minder beträchtlich. Die Stärke der Verdunstung wird, wie schon früher bemerkt, durch die relative Trockenheit der Luft bedingt; außerdem wird dieselbe durch den Wind befördert, welcher trockenere, noch nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten mit der Oberfläche des Wassers in Berührung bringt.

Wir haben in starkem Luftzuge ein empfindliches Gefühl von Kälte, nicht etwa als wenn bewegte Luft kälter wäre, als ruhende — ein trockenes Thermometer steht in dieser auf dem nehmlichen Temperaturgrade wie in jener — sondern weil in der bewegten Luft die Verdunstung des Schweißes rascher erfolgt, also eine stärkere Verdunstungskälte erzeugt wird, wozu auch noch der Umstand tritt, daß die Temperatur der Luft in der Regel beträchtlich niedriger ist, als die Blutwärme, so daß der Haut fortwährend von der bewegten Luft Wärme entzogen wird.

Nebel und Wolken. Indem die in Folge der Verdunstung mit Dämpfen geschwängerten Luftschichten in höhere und kältere Regionen emporsteigen, oder indem in wärmere, feuchte Luftschichten ein kälterer Luftstrom eindringt, und so die Temperatur bis unter die des Thaupunktes erniedrigt wird, verdichten sich die luftförmigen und eben vermöge ihrer Durchsichtigkeit vollkommen unsichtbaren Dämpfe zunächst zu kleinen Dunstbläschen, welche wir in ihrer Anhäufung, wenn sie auf der Erdoberfläche lagern, als Nebel, wenn sie in der Höhe schweben, als Wolken bezeichnen. Daß Wolken und Nebel an

sich nicht verschieden sind, ergiebt die unmittelbare Erfahrung, daß eine Wolke, welche vom Thale aus gesehen auf einem Berge lagert, dem auf dem Berge und in der Wolke befindlichen Beobachter als Nebel erscheint. Die zahllosen kleinen Dunstbläschen, welche dieselbe zusammensetzen, bestehen wahrscheinlich, sowie die Seifenblasen, aus einem dünnen Wasserhäutchen, welches inwendig mit Luft oder Wasserdampf gefüllt ist.

Das Schweben der Wolken in der Luft, obschon diese Dunstbläschen specifisch schwerer, als die Luft sind, erklärt sich daraus, daß diese Bläschen wegen ihrer Kleinheit und Leichtigkeit sich nur sehr langsam senken, und indem sie so in wärmere Luftschichten gelangen, sich wieder auflösen, während oben sich neue Dunstbläschen bilden. Ueberhaupt haben wir uns eine Wolke nicht als etwas Bestehendes und Bleibendes vorzustellen. In sehr vielen Fällen ist dieselbe vielmehr als etwas sich immer wieder von Neuem an der nehmlichen Stelle Erzeugendes und wieder Vergehendes anzusehen. So erblicken wir häufig bei übrigens heiterem Himmel die Gipfel der höchsten Berge in Wolken gehüllt. Indem nehmlich die durch den Wind bewegten warmen und feuchten Luftschichten an dem Gebirge anlangen, steigen sie an demselben wie an einer schiefen Ebene empor, und in Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur verdichten sich die Dämpfe derselben zu Dunstbläschen und bedecken die Gipfel des Gebirges mit Nebel oder Wolken. — Eben so müssen da, wo ein warmer feuchter und ein beträchtlich kälterer Luftstrom sich mischen, die in jenem enthaltenen Dämpfe sich zu Dunstbläschen verdichten; es muß daher an der Stelle, wo diese Vermischung erfolgt, eine ununterbrochene Wolkenbildung stattfinden.

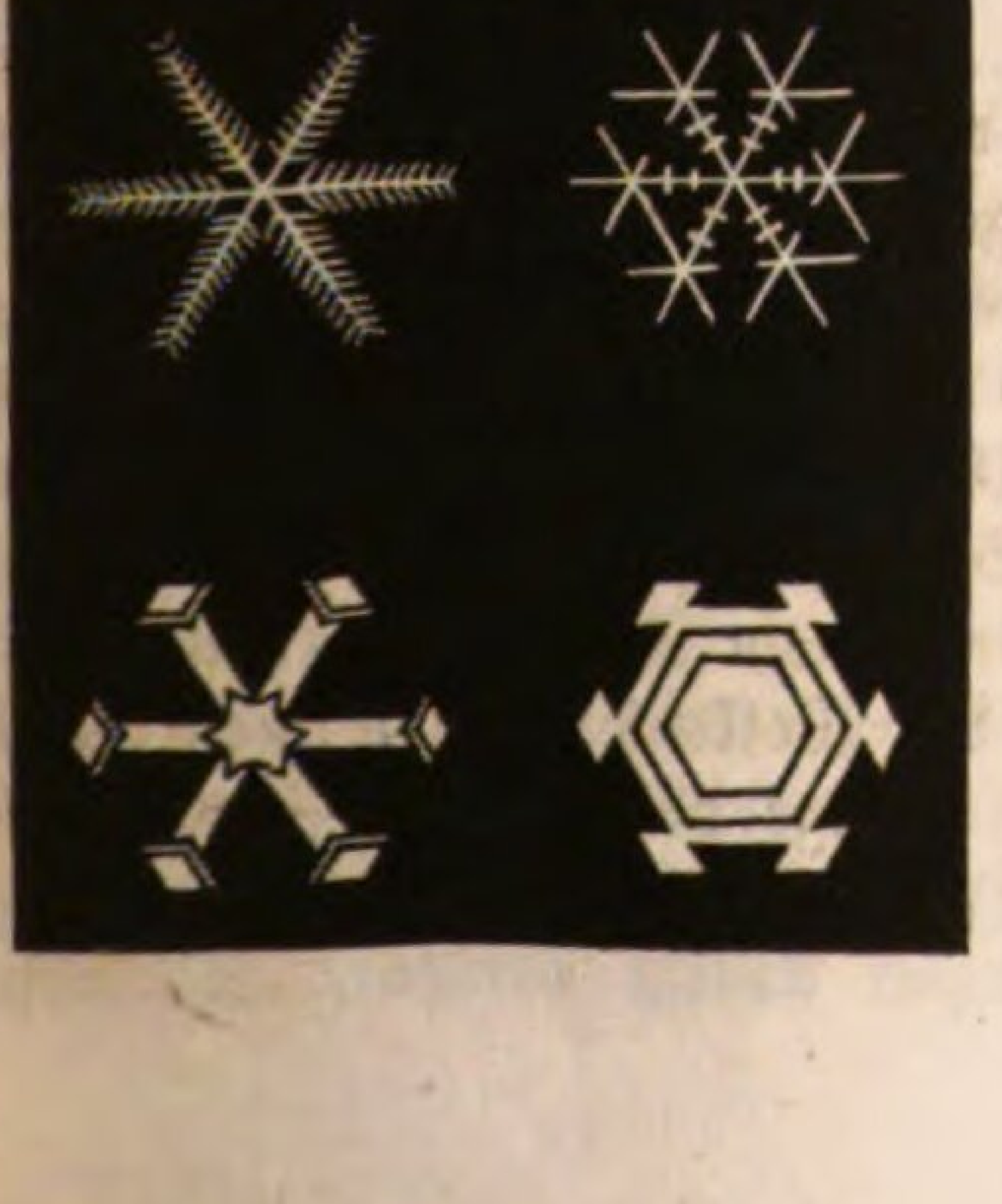
Regen, Schnee und Hagel.

Erfolgt die Condensation der Dämpfe sehr rasch und reichlich, so vereinigen sich die in großer Menge vorhandenen Dunstbläschen zu Tropfen, welche vermöge ihres größeren Gewichtes als **Regen** niederfallen. Liegt die in der Wolke stattfindende Temperatur unter dem Eispunkte, so wird nicht Regen, sondern **Schnee** gebildet.

Sehr gewöhnlich schweben die Wolken in einer solchen Höhe, in welcher die Temperatur, auch wenn das Thermometer an der Erdoberfläche mehrere Grade über Null zeigt, unter den Eispunkt herabgeht. Indem aber die in der Höhe gebildeten Schneeflocken in die wärmeren Luftschichten gelangen und schmelzen, fallen sie in dieser als Regentropfen nieder. So geschieht es häufig, daß auf hohen Bergen Schnee und zu gleicher Zeit im Thale Regen fällt.

Wenn man im Winter die Schneeflocken mit einem kalten Körper auffängt, so sieht man, daß dieselben die Gestalt regelmäßiger, gewöhnlich sechseckiger Sterne zeigen und aus feinen nadelförmigen Krystallen zusammengesetzt sind. Fig. 151 stellt einige dieser Gestalten dar. Dieselben zeigen sich am schönsten in kalten Wintern in den höheren Breiten.

(Fig. 151.)

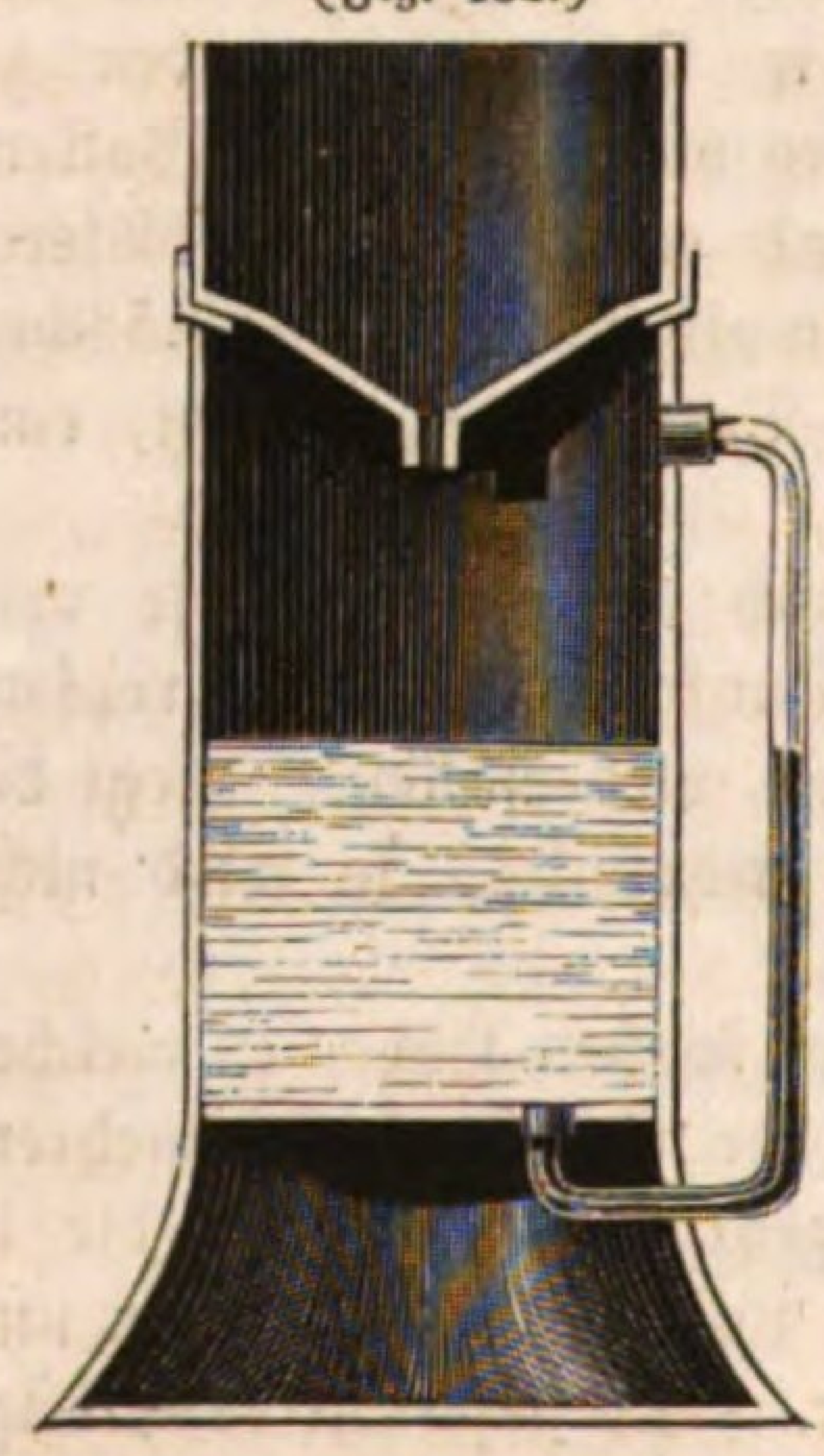


Zu den noch nicht vollständig aufgeklärten Erscheinungen gehört der besonders im Sommer in der Form größerer Eismassen niederfallende **Hagel**. Diese Eisklumpen erreichen zuweilen einen Durchmesser von einem oder mehreren Zollen und bestehen aus concentrischen, sich gegen=

seitig einhüllenden Schichten, welche abwechselnd mehr eisartig und durchsichtig und mehr schneeartig und undurchsichtig sind. Wir können vielleicht annehmen, daß bei großer Sommerhitze und Windstille sehr warme feuchte Luftschichten sich unvermischt bis zu außerordentlicher Höhe erheben, in welcher die Temperatur der umgebenden Luftschichten tief unter dem Gefrierpunkte liegt, und daß dann beim Eindringen eines sehr kalten Luftstromes die plötzlich condensirten Dämpfe zu Eis erstarren. Allein auch diese Annahme reicht zur Erklärung der oft mehrere Loth schweren, wie schon angegeben, aus concentrischen Schalen bestehenden Hagelmassen nicht aus. Wir müssen uns daher nur der Hoffnung überlassen, daß auch in dieses Dunkel fortgesetzte Beobachtungen und Forschungen in späterer Zeit ein Aufschluß gewährendes Licht bringen werden.

Von nicht geringem Interesse ist die Frage nach der Menge des als Regen, Schnee oder Hagel aus der Atmosphäre an einem Orte in bestimmten Zeiträumen, z. B. monatlich oder jährlich, niederfallenden Wassers. Zur Abmessung desselben dienen die sogenannten Ombrometer oder Regenmesser. Ein solcher besteht in der einfachsten Einrichtung aus zwei cylinderförmigen Gefäßen, Fig. 152, von denen das obere sich in einen Trichter verengende und dicht an das untere anschließende Gefäß mit diesem ganz gleichen Durchmesser hat. Ein an der Außenseite des unteren Gefäßes angebrachtes und mit demselben communicirendes Glasrohr zeigt den Stand des Wassers in diesem Gefäße an.

(Fig. 152.)



Man sieht wohl leicht ein, daß die Höhe, bis zu welcher das Regenwasser in dem Gefäße steigt, von der Weite ganz unabhängig ist. In ein weiteres Gefäß liefert der nehmliche Regen natürlich mehr Wasser, als in ein engeres; aber die Höhe, welche das Wasser in diesen Gefäßen erreicht, ist für beide die nehmliche; sie ist dieselbe, bis zu welcher das Regenwasser auf der Erdoberfläche überhaupt steigen würde, wenn dasselbe hier keinen Abfluß hätte.

Die Menge des jährlich niederfallenden Regens ist selbst für verschiedene Gegenden Deutschlands sehr verschieden; sie beträgt im Mittel für Prag nur etwa 14 Pariser Zoll, für Wien 16, für Berlin 22, für Göttingen und Karlsruhe 25, für Cleve 30, für Triest 40 Pariser Zoll.

Von großem Einfluß auf die Menge des jährlich an einem Orte niederfallenden Regens ist die Lage desselben gegen das Meer, gegen benachbarte Gebirge und die Erhebung über die Meeresfläche. Während z. B. Prag in Böhmen bei einer Meereshöhe von 500 Fuß im Mittel nur eine jährliche Regenmenge von 14 Zoll hat, steigt dieselbe in dem ebenfalls in Böhmen, aber in der Höhe von 2500 Fuß gelegenen Städtchen Rehberg auf 62 Zoll. Den Grund, warum in Gebirgen im Allgemeinen mehr Regen niederfällt, als in ebenen Gegenden, haben wir schon oben bei der Wolkenbildung kennen gelernt.

Auch an dem nehmlichen Orte ist die Menge des Regens für verschiedene Jahre verschieden; sie kann in einem Jahre selbst mehr, als doppelt so groß, als in einem anderen sein.

Die Zahl der jährlichen Regentage beträgt im Allgemeinen für Deutschland etwa 146. — Auf den Winter kommen deren ohngefähr eben so viele als auf den Sommer; dagegen ist in den meisten Gegenden Deutschlands die Regenmenge im Sommer (in den Monaten Juni, Juli, August) am größten, in den Wintermonaten (December, Januar, Februar) die Menge des aus der Atmosphäre als Regen oder Schnee niederfallenden Wassers am kleinsten und nahe zu das Mittel haltend im Frühlinge (März, April, Mai) und im Herbste (September, October, November).

Im Sommer fällt bei einem Gewitterregen in wenigen Stunden oft eine größere Wassermasse nieder, als im Winter in mehreren Tagen oder Wochen.

Für die verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche nimmt die jährliche Regenmenge im Allgemeinen mit der Annäherung an den Aequator zu, mit der Entfernung von demselben und der Annäherung an die Pole ab. Die Zahl der Regentage dagegen wächst mit der Entfernung vom Aequator und der Annäherung an die Pole.

Höchst ausgezeichnet sind die Regenverhältnisse in der heißen Zone. Bekanntlich zerfällt für den größten Theil derselben das Jahr in zwei Theile, die trockene und die nasse Jahreszeit; die letztere beginnt mit der Annäherung der Sonne an das Zenith und hat für verschiedene Gegenden eine verschiedene Dauer, etwa drei bis fünf Monate. In dieser Zeit strömt der Regen in den heftigsten Güssen von etwa 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags hernieder; in den übrigen Tagesstunden und während der Nacht ist der Himmel wieder vollkommen heiter. Mit der Entfernung der Sonne vom Zenith nimmt auch die Heftigkeit des niederfallenden Regens allmählig ab, und es folgt nun die trockene Jahreszeit.

Die größte bis jetzt auf der Erde beobachtete Regenmenge bietet Cherraponjie am Südabhange der Cossyahills in Bengalen dar. Dieselbe erreichte für das Jahr 1851 die enorme Größe von 573 Pariser Zoll. Während in den Monaten November und December gar kein Regen gefallen zu sein scheint, die Regenmenge der Monate Januar, Februar und März noch nicht 5 Zoll erreicht, erhebt sich dieselbe im April schon auf 26 Zoll, steigt in den Monaten Mai und Juni auf 108 bis 138 Zoll, beträgt im Juli, August, September 94, 97, 67 Zoll und im October noch 38 Zoll.

Die Regenmenge Cherraponjie's ist jedoch selbst für die tropischen Gegenden als etwas Ungewöhnliches zu betrachten; im Allgemeinen schwankt dieselbe in diesen Gegenden jährlich etwa zwischen 70 und 100 Zoll.

In der Nähe des Aequators, in der Region der Calmen, in welcher, wie oben angegeben, Windstille mit den stärksten Stürmen wechselt, finden das ganze Jahr hindurch in den Nachmittagsstunden heftige, von Gewittern begleitete Regengüsse statt.

In denjenigen Gegenden der heißen Zone dagegen, wo in offenen Meeren oder an flachen Küsten das ganze Jahr hindurch der Nord- oder Südostpassat regelmäßig weht, ist auch der Himmel fast beständig heiter und der Regen eine seltene Erscheinung. Auch in anderen Gegenden der Erde, in der Sahara, in Oberägypten, an den Küsten von Arabien, auf der Hochebene von Iran in Persien, fällt nie oder nur selten Regen, indem in der trockenen Luft dieser durch die Sonnenstrahlen stark erhitzten Gegenden die durch Winde herbeigeführten Dünste sich wieder auflösen. Nur wo in diesen Gegenden sich Gebirge erheben, welche die mit Dämpfen geschwängerten Luftschichten zu größeren Höhen emporzusteigen nöthigen, bewirkt die mit der

Höhe abnehmende Temperatur eine reichlichere Condensation der Dämpfe und das Herabfallen von Regen.

Fortpflanzung der Wärme.

Nachdem wir uns bisher mit den Wirkungen der Wärme, nehmlich mit der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung der Körper, und mit der Aenderung des Aggregatzustandes beschäftigt haben, wenden wir uns nun zu dem zweiten Theile der Wärmelehre und handeln weiter von der Fortpflanzung der Wärme.

Die Wärme pflanzt sich auf zwei wesentlich verschiedene Arten fort. Der Uebergang der Wärme findet nehmlich entweder nur zwischen denjenigen Theilen des nehmlichen oder verschiedener Körper statt, welche unmittelbar mit einander in Berührung stehen; oder die Wärme geht, in ähnlicher Art wie das Licht, unmittelbar von einem Körper zu einem anderen, durch einen beliebig großen Abstand von demselben getrennten Körper über, ohne daß dieser Uebergang durch zwischen beiden befindliche Körper vermittelt wird. Man nennt die erstere Art der Wärmefortpflanzung Leitung, die letztere aber Strahlung.

Wärmeleitung.

Wir handeln zunächst von der Wärmeleitung. Bekanntlich besitzen verschiedene Körper ein sehr verschiedenes Vermögen, die Wärme fortzuleiten. Im höchsten Maaße kommt diese Eigenschaft den Metallen zu. Glas, Holz, Federn, thierische Felle, sind dagegen schlechte Leiter der Wärme. Wir umgeben unseren eigenen Körper zur Winterzeit, um ihm die Wärme zu erhalten, mit möglichst schlechten Wärmeleitern. An metallenen Gefäßen werden hölzerne Griffe angebracht, um dieselben, auch wenn sie erhitzt sind, mit den Händen anfassen zu können u. dgl. m.

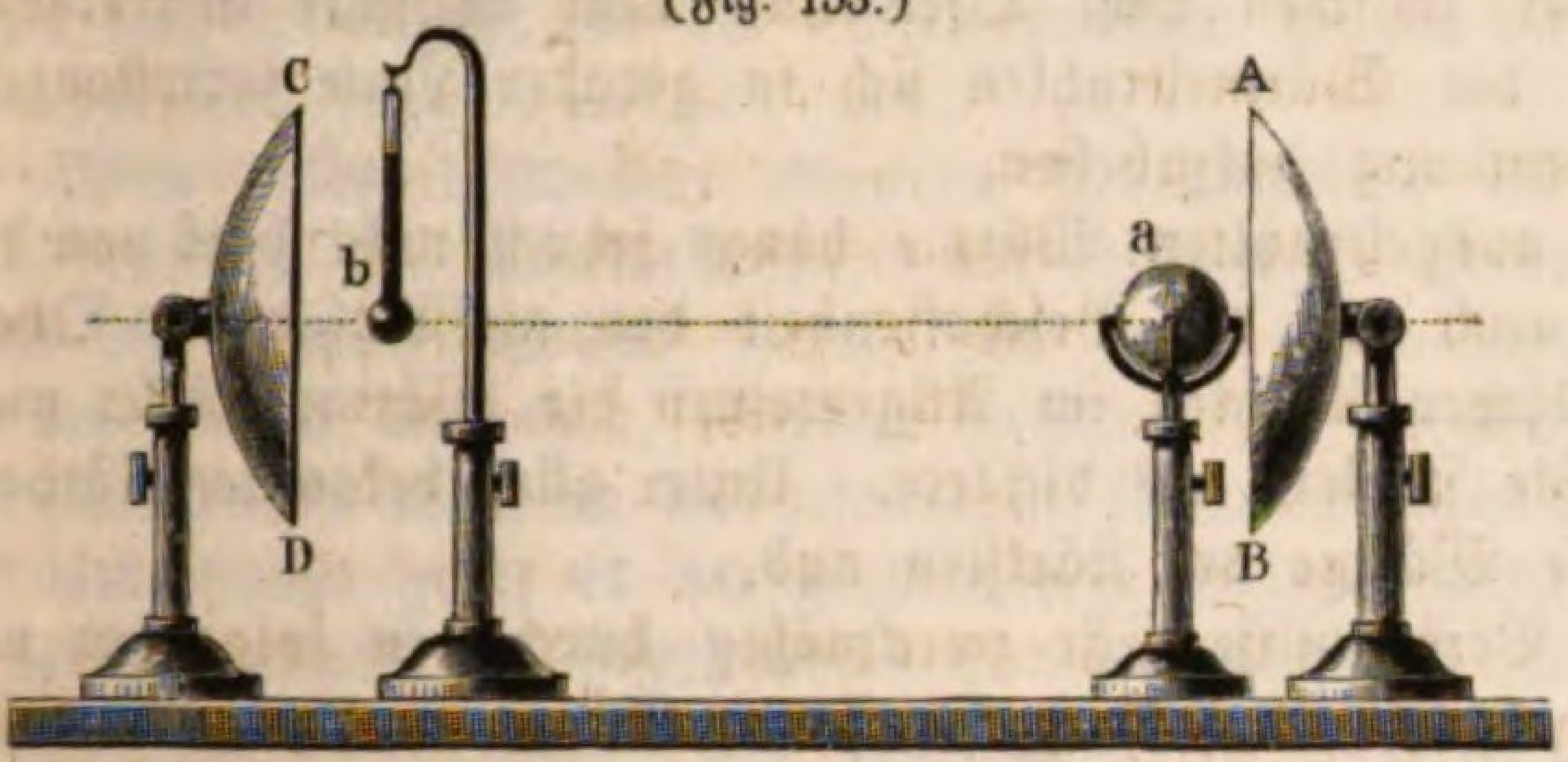
Die flüssigen Körper sind, mit Ausnahme des metallischen Quecksilbers, sämmtlich schlechte Wärmeleiter. Dennoch verbreitet sich durch das Wasser oder eine andere Flüssigkeit die Wärme ziemlich rasch, wenn unter denselben ein Feuer angebracht wird, indem die unteren erwärmten Theile emporsteigen und durch andere noch kalte ersetzt werden, und so in Folge fortwährender Strömung sämmtliche Theile der Flüssigkeit mit dem erhitzten Boden des Gefäßes in Berührung kommen.

Die luftförmigen Körper leiten die Wärme so äußerst schlecht, daß es kaum möglich ist, das Leitungsvermögen derselben auf directem Wege durch Versuche nachzuweisen, zumal die Wärme dieselben strahlend durchdringt. Betten, Pelze und dergleichen Körper verdanken ihr geringes Leitungsvermögen für Wärme hauptsächlich dem Umstande, daß zwischen den Federn, Haaren u. dgl. eine Luftschicht gefangen gehalten wird, und die Luft, wie gesagt, ein äußerst schlechter Wärmeleiter ist.

Wärmestrahlung.

Wenden wir uns nun von diesen allgemein bekannten Erscheinungen zu der zweiten, minder augenfälligen Art der Wärmefortpflanzung, der Strahlung. Wir beginnen damit, unseren Lesern den folgenden, entscheidenden Versuch vorzuführen, welcher zuerst von Pictet in Genf 1788 angestellt worden ist. Zwei Hohlspiegel werden einander gegenüber so aufgestellt, daß ihre Axen in eine Linie fallen; bringt man dann in den Brennpunkt des einen Spiegels einen leuchtenden Körper, so werden die von demselben auf diesen Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen; sie treffen folglich auch den anderen Spiegel in einer der Axe desselben parallelen Richtung und werden daher von diesem so zurückgeworfen, daß sie sich in dem Brennpunkte desselben vereinigen. — Auf diese Art werden sich zu Folge dessen, was wir oben über das Licht vorgetragen haben, Lichtstrahlen verhalten.

(Fig. 153.)



Aendern wir nun den Versuch in der Art ab, daß wir in den Brennpunkt b des einen Spiegels CD, Fig. 153, ein empfindliches Thermometer — ein Luftthermometer würde sich wegen seiner größeren Empfindlichkeit hierzu noch besser, als ein Quecksilberthermometer eignen — und in den Brennpunkt a des anderen Spiegels AB einen erwärmten, aber nicht leuchtenden Körper, z. B. eine erhitzte eiserne Kugel oder ein kleines Gefäß mit heißem Wasser u. dgl. bringen, so sehen wir das in b angebrachte Thermometer steigen, selbst wenn die Spiegel zwanzig und mehr Fuß von einander entfernt sind. Das Thermometer kehrt dagegen auf den früheren Stand zurück, wenn einer der Spiegel mit einem Schirme bedeckt wird, und es beginnt von Neuem zu steigen, so wie der Schirm wieder weggezogen wird.

Wir sehen aus diesem Versuche, daß auch von erwärmten, nicht leuchtenden Körpern Strahlen ausgehen, welche auf das Thermometer wirken, und daß diese dunkelen Wärmestrahlen sich eben so wie die Lichtstrahlen in gerader Linie fortpflanzen und nach demselben Gesetze, wie diese, zurückgeworfen werden.

Stellt man den Versuch im Winter an zu einer Zeit, wenn das Thermometer mehrere Grade unter dem Eispunkte steht, so wird man finden, daß auch ein Körper, dessen Temperatur nur Null Grad oder nur wenige Grade darüber beträgt, wenn er in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht wird, erwärmend auf das im Brennpunkte des anderen Spiegels befindliche Thermometer wirkt, wonach wir wohl nicht zweifeln können, daß von allen Körpern bei jeder Temperatur Wärme ausgestrahlt wird.

In Folge dieser Ausstrahlung müßten sich die Körper immer mehr abkühlen, wenn sie nicht für den Verlust, welchen sie durch die Ausstrahlung erleiden, durch die von den umgebenden Körpern ihnen zugesendeten Wärmestrahlen Ersatz erhielten. Dagegen wird allerdings die Temperatur eines Körpers steigen oder fallen müssen, wenn er von anderen Körpern mehr oder weniger Wärmestrahlen empfängt, als er selbst aussendet.

Ein sehr deutliches Beispiel für dieses Verhältniß bietet unsere Erde dar. Sie empfängt das ganze Jahr hindurch von anderen Himmelskörpern, besonders von der Sonne, Wärmestrahlen und strahlt selbst fortwährend Wärme in den Weltraum aus. Ohne diese Ausstrahlung müßte die Wärme auf der Erde beständig zunehmen. Dieß ist aber nur im Sommer wirklich der Fall, weil die Erde dann mehr Wärme empfängt, als ausstrahlt. Im Winter dagegen beträgt die ausgestrahlte Wärme mehr, als der Ersatz, welchen die Erde an zugesendeten Wärmestrahlen empfängt, und die Temperatur muß daher sinken.

Die Menge der Wärme, welche überhaupt ein Körper ausstrahlt, ist um so größer, je höher seine Temperatur ist. Sie ist z. B. bei einem stark geheizten eisernen Ofen, auch wenn derselbe noch nicht glüht, so beträchtlich, daß wir dieselbe schon in der Entfernung mehrerer Fuße im Ge-

sichte empfinden. Jeder zwischen dem Ofen und dem Gesichte angebrachte Schirm vermag, weil die Wärmestrahlen sich in gerader Linie fortpflanzen, die unangenehme Empfindung aufzuheben.

Die Menge der ausgestrahlten Wärme hängt jedoch nicht blos von der Temperatur, sondern auch von der Beschaffenheit der ausstrahlenden Oberfläche ab. Dunkle Flächen strahlen im Allgemeinen die Wärme stärker aus, als helle, weniger dichte stärker, als dichtere. Unter allen bekannten Körpern strahlt der Kienruß die Wärme am stärksten aus.

Man kann diese Verhältnisse sehr zweckmäßig durch den folgenden von Leslie (1804) angegebenen Versuch nachweisen. An einem kleinen metallenen, würfelförmigen Gefäße ist eine der vier Seitenwände blank polirt, die andere rauh oder geritzt, wodurch weichere Stellen des Metalls blos gelegt werden, die dritte mit einer Glasplatte bedeckt und endlich die vierte mit Kienruß geschwärzt. Füllt man diesen Würfel mit heißem Wasser und bringt ihn dann in den Brennpunkt des einen der beiden in der oben angegebenen Art aufgestellten Spiegel, so sieht man das in dem Brennpunkte des anderen Spiegels angebrachte Thermometer am stärksten steigen, wenn der Würfel gegen den Spiegel, in dessen Brennpunkt er sich befindet, die mit Kienruß geschwärzte Seite, weniger stark, wenn er gegen denselben die mit einer Glasplatte bedeckte Seite, noch weniger, wenn er die rauhe oder geritzte, und am wenigsten, wenn er die polirte Seite gegen diesen Spiegel wendet.

Diejenigen Oberflächen, welche die Wärme am stärksten ausstrahlen, verschlucken auch von den auffallenden Strahlen am meisten und reflectiren am wenigsten. Sie empfangen daher auch für die stärkere Ausstrahlung von den umgebenden Körpern einen reichlicheren Ersatz, als solche Körper, welche weniger ausstrahlen.

Wie schon oben bemerkt, wird das Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen und also auch das Absorptionsvermögen eines Körpers wesentlich durch die Farbe bedingt; dunkle Flächen strahlen stärker aus und absorbiren stärker, als helle. Auch die Sonnenstrahlen werden von dunklen Flächen stärker absorbirt, als von hellen. Wir haben daher im Sommer in heller Kleidung weniger, als in dunkler von der Sonnenhitze zu leiden. Den blendend weißen Schnee vermag die Sonne nur langsam zu schmelzen; weit rascher geschieht dieß, wenn derselbe durch Schmutz seine weiße Farbe eingebüßt hat. Eben so sieht man häufig bei heiterem Winterwetter den Schnee zuerst um Baumstämme, aus dem Schnee hervorragende Pfähle, Steine u. dgl. geschmolzen, weil diese Körper vermöge ihrer dunkleren Farbe stärker durch die Sonnenstrahlen erwärmt werden.

So wie der weiße Schnee die Wärmestrahlen schwach absorbirt, so strahlt er auch wenig aus. Er bildet daher auch in dieser Hinsicht im Winter für das Erdreich eine schützende Decke, welches vermöge seiner grauen Farbe weit mehr ausstrahlen und zumal in heiteren Winternächten sich noch viel stärker, als die weiße Schneedecke abkühlen würde.

Die Wärmestrahlen befolgen nicht blos in Beziehung auf Fortpflanzung und Zurückwerfung die nehmlichen Gesetze wie die Lichtstrahlen; sie werden auch so wie diese von gewissen Körpern durchgelassen und gebrochen. In den meisten Fällen kann man annehmen, daß diejenigen Körper, welche die Lichtstrahlen durchlassen, auch den Wärmestrahlen einen Durchgang gestatten; man darf jedoch nicht aus dem Verhältnisse, nach welchem das Eine geschieht, auch auf das Andere schließen; die durchsichtigsten Körper sind keines-

weges auch unbedingt für die Wärmestrahlen die am meisten durchdringlichen, oder wie man sagt, diatherman.

Unter allen bekannten Körpern ist Steinsalz am meisten diatherman, d. h. es läßt die Wärmestrahlen am reichlichsten hindurch. Glas, Wasser lassen die Wärmestrahlen, welche von leuchtenden Körpern, ins Besondere von der Sonne ausgehen, reichlich hindurch; sie verschlucken dagegen die von nicht leuchtenden Körpern ausgesendeten Wärmestrahlen fast gänzlich.

Ueberhaupt giebt es verschiedenartige Wärmestrahlen, welche eben so wie die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen von verschiedenen Körpern nach ungleichen Verhältnissen durchgelassen und zurückgeworfen werden. Wir verdanken diese Entdeckung der verschiedenartigen Wärmestrahlen, welchen man auch den Namen Wärmefarben beilegt, vorzüglich den von Melloni (1831) angestellten Untersuchungen. — Andere Physiker, Forbes in England, Fizeau und Foucault in Frankreich, Knoblauch in Marburg, haben auch noch die Uebereinstimmung der Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen darin nachgewiesen, daß dieselben eben so wie die Lichtstrahlen Erscheinungen der Polarisation, der Interferenz und der Beugung zeigen.

Wenn diese Uebereinstimmung zwischen Wärme- und Lichtstrahlen mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit zu der Ansicht führt, daß Wärme und Licht überhaupt nicht verschieden sind, so ist es doch den Physikern bis jetzt noch nicht gelungen, die Erscheinungen der Wärme sämmtlich auf das nehmliche Princip zurückzuführen.

Wir wenden uns nun zur Erklärung zweier, vorzugsweise auf der Wärmestrahlnng beruhenden Naturerscheinungen, des Thaues und des Reifs. Indem die Oberfläche der Erde zur Nachtzeit Wärme in den Weltraum ausstrahlt, ohne hierfür, wie am Tage, Ersatz durch die Sonnenstrahlen zu erhalten, geschieht es besonders in heiteren Nächten sehr gewöhnlich, daß die Temperatur der an der Erdoberfläche befindlichen Körper bis mehrere Grade unter die Lufttemperatur herabgeht, und sich an denselben die in der Luft enthaltenen Dämpfe in Form von Tropfen condensiren, welchen wir den Namen Thau beilegen. Der Thau erscheint dagegen als Reif, wenn die Temperatur bis unter Null Grad sinkt. Der Thau und der Reif.

Der Thau oder Reif zeigt sich weniger reichlich in bewölkten, als in heiteren Nächten, weil im ersteren Falle die Wolken Wärme zurückstrahlen und so den Körpern an der Oberfläche der Erde für die ausgestrahlte Wärme einen hinreichenden Ersatz gewähren. Eben so bethauen Körper unter einem Dache oder Schirme wenig oder gar nicht. Gräser und andere frei in die Luft hinein ragende dünne Körper bethauen stärker, als der feste Erdboden oder Steine, weil diese wegen ihrer größeren Masse langsamer und weniger erkalten. Der Thau fällt reichlicher in windstillen, als in windigen Nächten, weil in letzterem Falle dadurch, daß immer neue, noch warme Luftschichten mit den Körpern an der Erdoberfläche in Berührung kommen, eine beträchtliche Abkühlung dieser letzteren unter die Lufttemperatur verhindert wird. Aus gleichen Gründen fällt der Thau reichlicher in der Ebene, als an Bergen, weil an diesen die erkaltenden Luftschichten herabgleiten und durch andere noch warme ersetzt werden. Man sieht daher häufig im Frühjahre oder Herbst durch Nachtfröste beträchtlicheren Schaden in den Thälern, als an den Abhängen der Berge angerichtet.

Zum Schlusse unseres Vortrags über die Wärme werfen wir noch einen Blick auf die Wärmeverhältnisse der verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche.

Wir berücksichtigen in dieser Hinsicht die Temperatur der Luft, des festen Erdbodens und der Gewässer.

Temperatur der Luft.

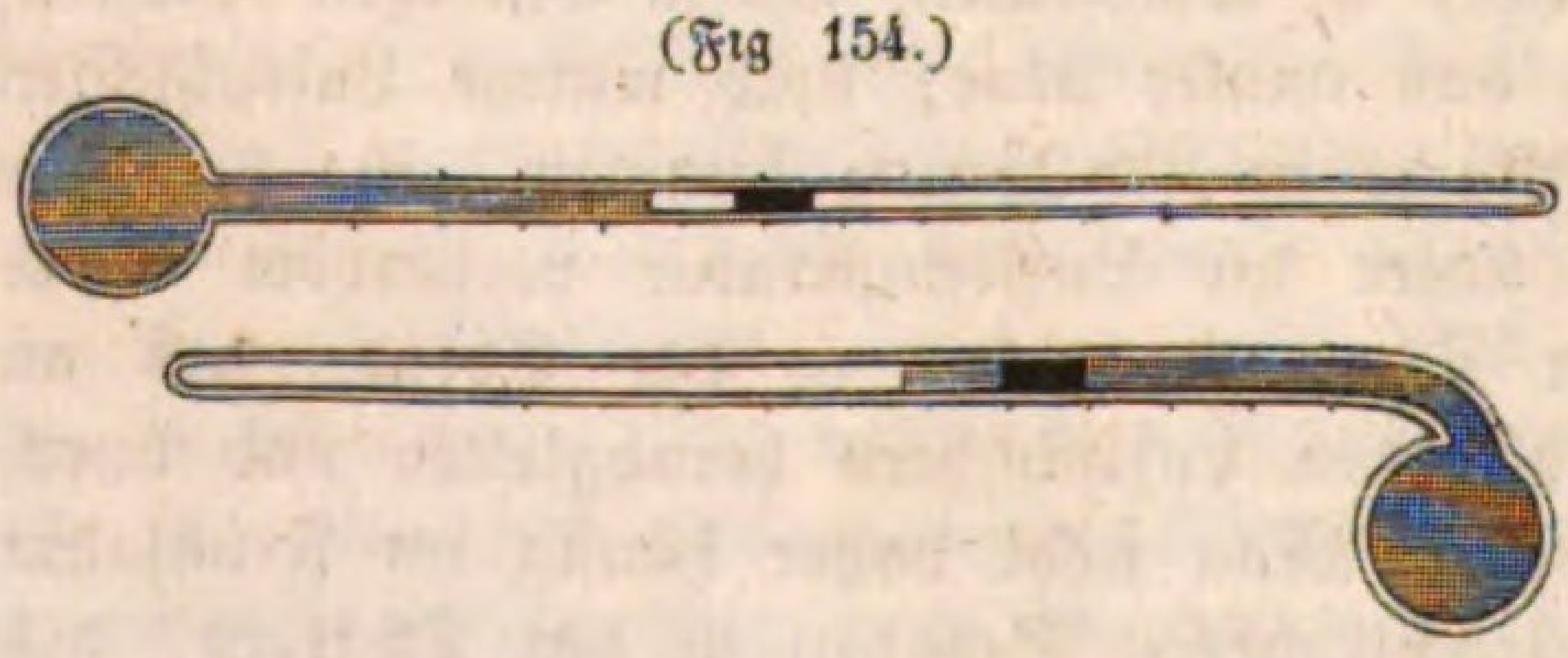
Zur Beobachtung der Lufttemperatur wird ein Thermometer im Schatten, am besten an der Nordseite eines Gebäudes etwa in dem Abstande eines halben oder ganzen Fußes von der Mauer und in der Höhe von einigen Fußen über dem Erdboden aufgehängt. Zwei richtig construirte und im Schatten gehörig aufgehängte Thermometer zeigen auch den nehmlichen Grad der Lufttemperatur an. Zwei Thermometer dagegen, welche von den Sonnenstrahlen getroffen werden, können sehr verschiedene Temperaturen zeigen. Der Stand derselben wird nicht bloß durch die wirklich stattfindende Temperatur der Luft, sondern auch noch durch mannigfache Nebenumstände, ins Besondere durch die Beschaffenheit des Glases, nehmlich durch das Verhältniß, in welchem von demselben die Sonnenstrahlen absorbirt werden, bedingt. Ein Thermometer mit dunklem Glase, oder dessen Kugel geschwärzt worden, wird viel höher stehen, als ein Thermometer mit blanker, glänzender Kugel. Man pflegt daher für meteorologische Zwecke das Thermometer im Schatten zu beobachten, zumal wenn es sich darum handelt, nicht sowohl die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen, als die stattfindende Temperatur der Luft zu messen.

Wenn man während eines Tages die Lufttemperatur in kurzen Zeitabschnitten, etwa alle Stunden beobachtet und aus sämmtlichen 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die **mittlere Temperatur des Tages**.

Da jedoch dieses Verfahren höchst lästig und zeitraubend wäre, so hat man zwar für einige Monate die Beobachtungen in der angegebenen Art durchgeführt. Man hat aber diese Beobachtungen benutzt, Methoden abzuleiten, wie sich schon aus zwei oder drei, an einem Tage angestellten Temperaturbeobachtungen die mittlere Temperatur dieses Tages herleiten läßt. Man hat auf diese Art gefunden, daß das arithmetische Mittel zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur eines Tages oder zwischen den Temperaturen der gleichnamigen Stunden 10 Uhr Morgens und Abends oder 4 Uhr Morgens und Abends der wahren mittleren Temperatur des Tages sehr nahe kommt. Eben so eignen sich für diese Zwecke die drei Stunden 7 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags und 10 Uhr Abends. Man erhält aus den an diesen drei Stunden angestellten Temperaturbeobachtungen sehr nahe die mittlere Temperatur des Tages, indem man dieselben addirt und die Summe derselben durch 3 dividirt. Außer den angegebenen existiren natürlich noch andere Combinationen, welche alle zu dem richtigen Resultate führen.

Zur Beobachtung der höchsten und niedrigsten Tagestemperatur dient sehr bequem der **Thermograph**. Dieser besteht aus zwei wagerecht liegenden Thermometern, einem Quecksilber- und einem Weingeistthermometer, Fig. 154. In dem ersteren befindet sich vor dem Quecksilber in der Röhre ein kleines Stäbchen von Eisen. Indem dieses bei dem Steigen der Temperatur von dem Quecksilber voran geschoben, bei sinkender Temperatur aber nicht wieder mit zurückgezogen wird, zeigt dasselbe den höchsten Stand an, welchen überhaupt innerhalb einer gewissen Zeit

(Fig 154.)



das Quecksilber im Thermometer erreicht hat. Bei dem Weingeistthermometer befindet sich innerhalb des Weingeistes ein kleines Stäbchen von Glas. So wie der Weingeist bei sinkender Temperatur sich zurückzieht, wird in Folge der Capillaranziehung auch das Stäbchen Glas mit fortgezogen. Das Stäbchen bleibt dagegen unverändert an der eingenommenen Stelle liegen, der Weingeist fließt neben demselben vorbei, ohne es mit fortzubewegen, wenn die Temperatur steigt. Es giebt daher das Stäbchen den niedrigsten Stand an, welchen der Weingeist in der Zwischenzeit erreicht hat.

Die niedrigste Temperatur tritt gewöhnlich gegen Sonnenaufgang, die höchste in den kürzesten Tagen gegen 1 Uhr, in den längsten Tagen zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags ein. Daß die höchste Temperatur nicht auf den Mittag, wo die Sonne am höchsten steht, fällt, erklärt sich einfach daraus, daß die Erdoberfläche und die Luft erst allmählich durch die Sonnenstrahlen erwärmt werden.

Eben so fällt die größte und geringste Jahreswärme nicht mit den längsten und kürzesten Tagen, in denen die Sonne den höchsten und niedrigsten Stand erreicht, zusammen, sondern tritt in der Regel erst später ein.

Wenn man aus den mittleren Temperaturen aller Tage eines Monates wiederum das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monates und eben so aus den mittleren Temperaturen aller Monate die mittlere Temperatur des Jahres. Hat man die Beobachtungen eine längere Reihe von Jahren fortgesetzt, so ergiebt sich endlich, wenn man von den mittleren Temperaturen sämmtlicher Beobachtungsjahre das Mittel nimmt, die mittlere Temperatur des Ortes. Die mittleren Temperaturen einzelner Jahre fallen nicht selten um 1 bis 2 Grad höher oder niedriger, als diese aus.

In unseren Gegenden ist in der Regel der Januar der kälteste, der Juli der heißeste Monat; die mittlere Temperatur des Aprils oder Octobers weicht gewöhnlich von der des Jahres nur wenig ab.

Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe.

Im Allgemeinen nimmt für die verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche die mittlere Temperatur mit der Entfernung vom Aequator und der Annäherung an die Pole zu. Orte, welche unter derselben geographischen Breite liegen, haben jedoch nicht immer eine gleiche mittlere Jahreswärme. Vielmehr können verschiedene Umstände hierin sehr erhebliche Abweichungen hervorbringen.

Von wesentlichem Einflusse auf die mittlere Temperatur eines Ortes ist zunächst die Erhebung desselben über die Meeresfläche. In den Alpen nimmt bei einem Steigen von etwa 500 bis 600 Fuß die Temperatur um 1 Grad ab. Diese Größe, um welche man sich erheben muß, damit das Thermometer um 1 Grad fällt, ist jedoch nicht für alle Gegenden der Erde die nehmliche; sie ist geringer bei einzelnen hervorragenden Berggipfeln, als bei Hochebenen und größeren Gebirgsmassen, weil hier ein innigerer Zusammenhang mit den unteren wärmeren Massen und daher eine vollständigere Fortleitung der Wärme aus diesen nach den oberen Massen stattfindet.

Die Schneegrenze.

Ueberall auf der Erde, selbst in den heißesten Klimaten, geht in einer gewissen Höhe die Temperatur so weit herab, daß auf Gebirgen, welche diese Höhe erreichen, der Schnee das ganze Jahr hindurch liegen bleibt, auch im Sommer nicht mehr weggeschmolzen wird. Die untere Grenze des ewigen Schnees wird die Schneegrenze genannt.

Dieselbe liegt natürlich in der heißen Zone am höchsten und senkt sich gegen die Pole mehr und mehr. Sie erhebt sich zu Quito am Aequator zur Höhe von 15,000 Fuß, hat in den Alpen in 46 Grad nördlicher Breite

noch die Höhe von 8400 Fuß und geht an den Küsten Norwegens in der Breite von 71 Grad bis zu 2200 Fuß herab.

Die Höhe der Schneegrenze hängt jedoch nicht blos von der geographischen Breite oder von der mittleren Temperatur einer Gegend ab; sie wird wesentlich bedingt auch durch die Menge des im Winter fallenden Schnees und die Wärme des Sommers.

So wird am südlichen Abhange des Himalaya-Gebirges in der nördl. Breite von 31 Grad, der ewige Schnee schon in der Höhe von 12,300 Fuß, am nördlichen Abhange aber erst in 15,700 Fuß Höhe angetroffen. Es geht dieselbe also am südlichen Abhange um 3400 Fuß tiefer, als am nördlichen herab. Die vom Meere her wehenden feuchten Südwinde entladen, indem sie an der Südseite des Gebirges emporsteigen, den größten Theil ihrer Dämpfe in reichen Niederschlägen, im Winter in starken Schneefällen. Ueberdieß übertrifft noch die in eine Hochebene sich ausbreitende Nordseite des Gebirges die steil abfallende Südseite in der Wärme des Sommers.

Eben so geht in der gleichen Breite von 43 Grad in den im Winter an Schnee reicheren Pyrenäen die Grenze des ewigen Schnees bis 8500 Fuß, in dem schneeärmeren Kaukasus nur bis 10,500 Fuß herab, obschon die mittlere Jahres- und selbst die mittlere Sommerwärme am Fuße der Pyrenäen einen höheren Temperaturgrad erreicht, als am Fuße des Kaukasus.

Gletscher. Während die Schneegrenze in dem nehmlichen Gebirge und an der nehmlichen Seite desselben in der Regel ziemlich gleichförmig verläuft, ziehen sich von derselben an verschiedenen Stellen Eisfelder, die sogenannten Gletscher, in den Thälern bis zu beträchtlichen Tiefen, bis mitten zwischen grünende Weiden herab. Die Gletscher entstehen dadurch, daß der am Tage durch die Sonnenstrahlen geschmolzene Schnee während der Nacht wieder zu Eis friert und die gebildeten Eismassen an den Abhängen der Berge, wie über eine schiefe Ebene herabgleiten. Sie sind daher in einer beständig fortschreitenden, abwärts gehenden Bewegung begriffen, wobei das am unteren Ende geschmolzene Eis fortwährend durch am oberen Ende sich bildende, neue Eismassen ersetzt wird.

Wie wir schon oben angeführt haben, wird selbst zu Quito unter dem Aequator, in der Höhe von 15,000 Fuß, die Grenze des ewigen Schnees erreicht. Es bieten daher in den heißen Erdstrichen bis zu beträchtlichen Höhen sich erhebende Gebirge dem Wanderer binnen wenigen Stunden eine eben so große Abwechselung der klimatischen Verhältnisse und der durch diese bedingten Vegetation dar, wie sie von dem Reisenden in der Ebene erst in der Entfernung von vielen hundert Meilen angetroffen werden.

So findet man z. B. in den ebenen Gegenden Italiens den Anbau der Orange und des Oelbaumes und in den Waldungen die immer grünen Bäume, welche auch im Winter ihre Blätter nicht verlieren; in der Höhe von 1200 bis 3000 Fuß hat die Vegetation einen ähnlichen Charakter wie im südlichen Deutschland; es gedeihen hier die Kastanien, der Wein und das Getreide; in einer größeren Höhe, als 3000 Fuß zeigt die Vegetation mehr den Charakter des nördlichen Deutschlands; bis zu 4000 Fuß reicht noch der Getreidebau; in noch größerer Höhe wird nur Viehzucht getrieben. Bis zu 6000 Fuß steigen die Laub-, ins Besondere die Buchenwaldungen empor; über dieser Höhe hört jedoch der Baumwuchs gänzlich auf, und es werden nur noch Alpenpflanzen angetroffen, bis endlich mit 9000 Fuß Höhe auf dem Gipfel des Aetna die Grenze des ewigen Schnees erreicht wird.

Wir haben bisher unsere Leser nur mit der Erscheinung, daß in allen Erdstrichen mit der Höhe die Lufttemperatur abnimmt, unterhalten. Wir sind denselben noch schuldig, von dem Grunde dieser Erscheinung Rechenschaft zu geben. Es folgt derselbe aber sehr einfach aus der umgekehrten Erscheinung, welche wir im Begriffe sind, unsern Lesern vorzuführen, daß nehmlich überall auf der Erde die Temperatur steigt, je tiefer man unter die Oberfläche eindringt. Dann ist es ja wohl sehr natürlich, daß mit der Entfernung von der Wärmequelle sich die Temperatur vermindert. Zunahme der Bodenwärme mit der Tiefe.

Beobachtungen des Gesteines in Bergwerksschachten und des Wassers in Bohrlöchern haben ergeben, daß im Mittel auf etwa 90 Fuß die Temperatur um 1 Grad steigt. In dem Bohrloche zu Neusalzwerk, ohnweit Preußisch-Minden, ist man zu der Tiefe von ohngefähr 2150 Fuß unter den Boden und zur Tiefe von etwa 1900 Fuß unter den Meeresspiegel gekommen. Das aus dieser Tiefe hervorquellende Wasser hat eine Temperatur von 33 Grad, während die mittlere Lufttemperatur zu Neusalzwerk nur etwa 9 Grad betragen dürfte.

Selbst im nördlichen Sibirien, wo auch in dem kurzen, aber heißen Sommer der Boden niemals vollständig aufthaut, nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu. In einem bei Jakuzk abgeteuften Schachte zeigten in den gefrorenen Boden eingesenkte Thermometer, nahe an der Oberfläche, 18 Grad, in der Tiefe von 330 Fuß aber nur 3 Grad unter dem Eispunkte.

Nehmen wir an, daß im Mittel, welches sich aus der Mehrzahl der Beobachtungen ergiebt, die Temperatur mit der Tiefe auf je 90 Fuß um je einen Grad steigt, und daß auch für größere Tiefen die Zunahme der Temperatur nach dem nehmlichen Verhältnisse erfolgt, so würden wir, wenn die Temperatur des Bodens in der Nähe der Oberfläche 10 Grad beträgt, schon in der Tiefe von etwas mehr, als 8000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers, in der Tiefe von etwa 5 Meilen aber eine Hitze antreffen, in welcher auch Felsen, wie der Granit, sich in geschmolzenem Zustande befinden müßten. Daß wirklich das Innere der Erde sich in einem geschmolzenen Zustande befindet, bekunden die aus den inneren Tiefen emporsteigenden und durch die Krater der Vulkane sich ergießenden feurig flüssigen Massen.

Eben so geben uns die zahlreichen warmen Quellen Zeugniß von der inneren Erdwärme. Ohne dieselbe würden die kalten Erdstriche, in denen der Boden selbst im Sommer nicht vollständig aufthaut, des Quellwassers gänzlich entbehren. Schon der einfache Umstand, daß auch in jenen Gegenden noch Quellen entspringen, legt entschiedenes Zeugniß für die innere Erdwärme ab. Noch vernehmlicher aber reden hiervon die über die ganze Erde verbreiteten sogenannten heißen Quellen. Selbst auf Island steigt die Temperatur in dem Wasser, welches der Geyser hervorsprudelt, bis zur Siedhitze. Von anderen warmen Quellen führen wir an

die zu Burtscheid mit einer Temperatur von 78 Grad,
" " Karlsbad " " " " 74 "
" " Wiesbaden " " " " 70 "
" " Baden " " " " 67 "
" " Aachen " " " " 57 "
" " Ems " " " " 56 "
" " Teplitz " " " " 48 "
" " Warmbrunn " " " " 37 "

Nehmen wir, wie oben angeführt, an, daß mit je 90 Fuß Tiefe die Temperatur um einen Grad sich erhöht, so wird sich hiernach und aus der Temperatur, welche der Erdboden in der Nähe der Oberfläche zeigt, leicht berechnen lassen, aus welcher Tiefe die Quelle ihren Ursprung nimmt.

Temperatur der Quellen und des Erdbodens. Quellen, welche aus einigermaßen beträchtlicher Tiefe entspringen, zeigen das ganze Jahr hindurch eine ziemlich gleiche Temperatur. Die größte Wärme derselben fällt gewöhnlich in den September, die geringste in den März. Der Unterschied übersteigt jedoch gewöhnlich nicht 1 bis 2 Grad. Eben so zeigt auch der Erdboden weit geringere Schwankungen der Temperatur, als die Luft. In der Tiefe von etwa 50 bis 60 Fuß hören in unseren Breiten die jährlichen Schwankungen der Temperatur fast gänzlich auf. In niederen Breiten tritt diese Unveränderlichkeit der Temperatur des Erdbodens in noch geringeren Tiefen ein.

Wegen der mit der Tiefe zunehmenden Bodenwärme übertrifft in unserer Breite bei den das ganze Jahr hindurch reichlich fließenden und eine unveränderliche Temperatur zeigenden Quellen die Temperatur derselben etwas die mittlere Lufttemperatur; in höheren Breiten steigt dieser Unterschied selbst bis auf mehrere Grade; über die heiße Zone fehlen noch entscheidende Beobachtungen.

Wir haben schon oben erwähnt, daß die überall mit der Tiefe wachsende Erdwärme, die unter den verschiedensten Breitengraden hervorsprudelnden heißen Quellen und ganz besonders die feurigflüssigen Laven, welche den Kratern der Vulkane entströmen, darauf hinweisen, daß der innerste Kern der Erde sich in einem geschmolzenen Zustande befinde, und daß nur eine starre Kruste in der Dicke von einigen Meilen uns von dem flüssigen, glühend heißen Innern scheidet. Uebereinstimmend hiermit sprechen geognostische Thatsachen, welche unsern Lesern ein späterer Abschnitt vorführen wird, dafür, daß in einer sehr weit von der Gegenwart entfernt liegenden Periode die ganze Masse der Erde geschmolzen gewesen ist, daß aber in Folge allmählig fortschreitender Abkühlung die äußere Kruste mit der Zeit erstarrt ist und mehr und mehr an Dicke zugenommen hat. Wir werden also die Erde als eine im Innern noch glühende und geschmolzene, an der Oberfläche aber, bis zur gegenwärtigen Temperatur erkaltete, Kugel anzusehen haben.

Ist diese Ansicht richtig, so liegt die Frage sehr nahe, ob auch noch in der gegenwärtigen Periode die Erde in fortschreitender Abkühlung begriffen ist, ob in der historischen Zeit angestellte Beobachtungen darauf hinweisen, daß die Temperatur an der Oberfläche fortfährt sich zu vermindern, oder ob gegenwärtig bereits die Oberfläche einen so niedrigen Temperaturgrad erreicht hat, daß die Wärmeverluste, welche dieselbe durch Ausstrahlung in den Weltraum erleidet, durch die von anderen Himmelskörpern, ins Besondere der Sonne, der Erde zugesendeten Wärmestrahlen ausgeglichen werden.

Die bis jetzt direct an dem Thermometer angestellten Beobachtungen lassen eine Abnahme der Temperatur nicht erkennen; freilich umfassen diese Beobachtungen selbst für Florenz nur 200 Jahre, für andere Beobachtungsorte noch kürzere Zeiträume. Allein auch anderweitige, aus den ältesten historischen Zeiten stammende Ueberlieferungen, die Verhältnisse der Vegetation und des Landbaues betreffend, führen zu dem nehmlichen Resultate.

So gedeiht noch gegenwärtig, wie zu Moses Zeiten, in Palästina die Weinrebe, spärlicher die Dattelpalme; die Weinlese fällt noch jetzt, wie damals, Ende September oder Anfang October, und die Getreideernte dauert

von der Mitte April bis Ende Mai. Alle Umstände sprechen dafür, daß seit 3300 Jahren die Temperaturverhältnisse von Palästina sich nicht wesentlich geändert haben. Eben so fällt in Italien noch gegenwärtig, wie zu den Zeiten der Römer, der Anfang der Ernte in die Mitte des Mai's und die Weinlese in den September. — Auch zu Herodot's Zeiten bedeckte sich in strengen Wintern, wie noch gegenwärtig, der Bosporus zuweilen mit Eis.

Alle diese und andere historische Zeugnisse stimmen darin überein, daß seit Jahrtausenden die Temperatur verschiedener Gegenden der Erdoberfläche keine merkliche Veränderung erfahren haben.

Isothermen.

Außer der geographischen Breite eines Ortes und der Höhe desselben über der Meeresfläche wird die mittlere Temperatur noch durch verschiedene andere Umstände bedingt. So besitzen im Allgemeinen bei gleichem Abstande vom Aequator und gleicher Erhebung über die Meeresfläche, Orte in Europa eine höhere mittlere Jahreswärme, als in Asien und Nordamerika.

Diese Bevorzugung Europa's vor den beiden anderen Erdtheilen verdankt dasselbe vorzüglich der Vertheilung des Wassers und des festen Landes. Während bei Amerika und Asien der größte Theil der heißen Zone vom Meere eingenommen wird, fällt Europa gegenüber der Continent von Afrika in die heiße Zone. Wie schon mehr bemerkt, erwärmt sich aber das Wasser viel weniger stark durch die Sonnenstrahlen, als das feste Land; hierzu kommt noch, daß in Folge der beständig im Meere stattfindenden Strömungen das erwärmte Wasser nach anderen Gegenden abfließt und durch kaltes ersetzt wird.

Dagegen wird die über dem heißen Boden Afrika's erwärmte Luft durch die in südlicher und südwestlicher Richtung wehenden Winde, welche wir früher als den Aequatorealstrom kennen gelernt haben, nach Europa hingebracht, und so diesem ein beträchtlicher Theil der Wärme jenes Erdtheiles zugeführt.

In Europa selbst zeigen die westlicher gelegenen Gegenden im Allgemeinen eine höhere Temperatur, als die östlicher gelegenen. Diese Erhöhung der Temperatur wird für die ersteren vorzüglich durch den Golfstrom bewirkt, welcher den westlichen Küsten Europa's die warmen Gewässer der heißen Zone zuführt.

Indem nehmlich in dieser Zone die Passate das ganze Jahr hindurch in östlicher Richtung wehen, bewirken dieselben in den großen Oceanen auch eine beständige Strömung des Meerwassers in dieser Richtung. Durch das feste Land von Amerika aufgehalten, wendet sich dieser Strom in dem mexikanischen Meerbusen gegen Nordost, folgt dann zunächst den östlichen Küsten Nordamerika's und theilt sich weiterhin in zwei Arme, von denen der eine gegen die Azoren und die Westküste Afrika's, der andere aber gegen Europa hin gerichtet ist. Durch diesen letzteren Strom werden nicht selten, besonders bei westlichen und südwestlichen Winden, aus den tropischen Gegenden Amerika's stammende Pflanzen und Früchte den östlichen Küsten Irlands und Norwegens zugeführt.

Die der heißen Zone entsprungenen Gewässer dieses Stromes theilen zugleich den über ihnen befindlichen Luftschichten ihre Wärme mit, welche sich bei westlichem Winde über Europa verbreitet und besonders die Temperatur der westlich gelegenen Länder Europa's erhöht. Dem Einflusse des Golfstromes ist es auch zuzuschreiben, daß sich im Norden Europa's beständig ein eisfreies Meer befindet und auch mitten im Winter das Polareis die Küsten von Norwegen und Lappland nicht erreicht.

Die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche lassen sich in einer sehr anschaulichen Weise, wie dieß zuerst durch **Alexander von Humboldt** geschehen ist, übersichtlich darstellen, wenn man diejenigen Orte durch Linien verbindet, welche eine gleiche mittlere Lufttemperatur besitzen. Man giebt diesen Linien den Namen **Isothermen**. Fig. 155 stellt den ohngefähren Lauf dieser Linien für Europa dar.

(Fig. 155.)



Die Linie der größten Wärme, der sogenannte **thermische Aequator**, fällt nicht mit dem geographischen Aequator zusammen, sondern, wie schon früher bemerkt, nördlich von demselben, indem die nördliche Halbkugel im Ganzen eine höhere Temperatur, als die südliche besitzt, was hauptsächlich eine Folge der ungleichen Vertheilung des festen Landes und des Wassers für beide Halbkugeln sein dürfte. Eben so nehmen auch die übrigen Isothermen keinen mit den Parallelkreisen übereinstimmenden Verlauf; sie bilden an den Westküsten Europa's erhabene Gipfel und senken sich dann sowohl nach Asien als nach Amerika hin.

Ueber die Zeichnung der Isothermen müssen wir noch bemerken, daß bei höher gelegenen Gegenden nicht die aus den Beobachtungen unmittelbar hervorgehende mittlere Lufttemperatur zu Grunde gelegt ist, sondern diejenige, welche diesen Orten bei gleicher Höhe mit dem Meeresspiegel zukommen

würde, wie sich dieselbe aus den unmittelbaren Beobachtungen, mit Berücksichtigung der Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe, ergiebt.

Wenn zwei Orte eine gleiche mittlere Jahreswärme besitzen, so können doch im Uebrigen ihre klimatischen Verhältnisse noch sehr von einander verschieden sein. Besonders weichen in dieser Hinsicht Inseln von großen Continenten, tief im Innern dieser letzteren und an der Küste gelegene Gegenden von einander ab. Man unterscheidet hiernach Insel, Küsten- und Continentalklima.

Indem nehmlich die Oberfläche des Meeres die Sonnenstrahlen in einem viel schwächeren Verhältnisse absorbirt, als das feste Land, und eben so viel weniger reichlich Wärme ausstrahlt, ist die Temperatur des Meerwassers weit geringeren Schwankungen, als die des festen Landes unterworfen, und indem das Meer im Sommer eine geringere, im Winter eine höhere Temperatur annimmt, als das feste Land, wird durch die Nähe desselben einerseits die Hitze des Sommers, andererseits die Kälte des Winters gemildert. Dem Meere nahe gelegene Gegenden charakterisiren sich daher durch kühle Sommer und verhältnißmäßig warme Winter, während dagegen im Innern des festen Landes sowohl die Hitze im Sommer, als auch die Kälte im Winter hohe Grade erreicht.

Die Bretagne, die Küsten der Normandie, England und Irland, zeichnen sich durch äußerst milde Winter, aber auch durch eine geringe Wärme des Sommers aus. Selbst im nordöstlichen Irland friert bei gleicher Breite mit Königsberg in Preußen nur selten im Winter Eis und gedeiht die Myrthe so freudig wie in Portugal. Andererseits vermag die geringe Wärme des Sommers in England die Trauben, die Mandeln und Wallnüsse nicht zur Reife zu bringen.

Astrachan im südlichen Rußland hat mit dem Nordcap in Lappland eine gleiche Winterkälte, aber eine hohe Sommerwärme, so daß daselbst die schönsten Obstsorten und die herrlichsten Trauben gezogen werden.

In Jakuzk in Sibirien, wo die mittlere Jahrestemperatur 10 Grad unter dem Eispunkte liegt und das Thermometer im Winter nicht selten bis 50 und mehr Grad unter den Eispunkt herabgeht, steigt dasselbe in dem kurzen, aber verhältnißmäßig heißen Sommer, welcher von der Mitte des Mai bis zur Mitte des September währt, öfters bis zu 25 Grad, und es können hier, obschon der Boden im Sommer nur etwa bis zur Tiefe von 3 Fuß aufthaut, noch Sommerweizen und Roggen gebaut werden, während dieß in Island, welches eine weit geringere Winterkälte und überhaupt eine beträchtlich höhere mittlere Jahrestemperatur hat, nicht mehr möglich ist, weil die Sommerwärme nicht ausreicht, das Getreide zur Reife zu bringen.

Die niedrigste auf der Erde überhaupt beobachtete Temperatur dürfte 60 Grad unter dem Eispunkte, die höchste, bis zu welcher man das Thermometer in der heißen Zone im Schatten in der Entfernung einiger Fuße vom Erdboden hat steigen sehen, 45 bis 46 Grad betragen. Als die mittlere Temperatur am Aequator kann man $27\frac{1}{2}$ Grad annehmen. In Deutschland dürfte die höchste und niedrigste beobachtete Temperatur 38 über und 32 Grad unter dem Eispunkte betragen.

Die folgende Tabelle giebt für einige Orte der Erdoberfläche die mittlere Wärme des Jahres, des Sommers (d. h. der Monate Juni, Juli und August) und des Winters (d. h. der Monate Dezember, Januar und Februar) an.

Orte.	Breite.	Höhe.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Sommers.	des Winters.
Quito	0° 14′ S	8970	15,6°	15,6°	15,4°
Madras	13 5 —	0	27,7	30,1	25,0
Massena (Abyssinien)	15 36 N	—	31,0	—	—
Mexiko	19 26 —	6990	15,9	18,4	12,4
Calcutta	22 35 —	—	26,8	21,6	29,1
Rio-Janeiro	22 55 S	0	23,1	26,1	20,3
Canton	23 8 N		21,1	27,8	12,7
Capstadt	33 55 S	—	16,5	20,3	12,8
Algier	36 47 N	0	17,8	23,6	12,4
Palermo	38 7 —	—	19,5	23,6	12,4
St. Louis (Miss.)	38 37 —	420	13,1	24,6	1,1
Lissabon	38 42 —	222	16,4	21,7	11,3
Baltimore	39 17 —	—	12,1	23,3	0,8
Peking	39 54 —	300	12,6	25,2	—1,6
Madrid	40 25 —	1940	14,3	23,5	6,9
Constantinopel	41 0 —	141	14,3	24,1	6,3
Rom	41 54 —	160	15,4	22,9	8,1
Marseille	43 18 —	144	14,1	21,1	7,4
Astrachan	46 21 —	—	10,0	24,4	—7,1
Quebek	46 49 —	—	5,5	20,2	—9,9
München	48 9 —	1620	8,9	17,4	—0,4
Wien	48 13 —	480	10,2	20,2	0,1
Tübingen	48 31 —	990	8,2	17,0	—0,9
Straßburg	48 35 —	450	9,8	18,1	1,2
Paris	48 50 —	80	10,8	18,1	3,3
Regensburg	49 1 —	1032	8,6	18,0	—1,4
Mannheim	49 29 —	282	10,3	19,5	1,5
Prag	50 5 —	576	10,1	20,0	—0,6
Frankfurt am Main	50 7 —	360	9,6	18,4	0,4
Brüssel	50 51 —	180	10,2	17,6	3,0
Dresden	51 3 —	372	9,5	18,9	0,0
Breslau	51 6 —	456	7,8	17,3	—1,9
Düsseldorf	51 14 —	85	11,0	18,7	2,8
Elberfeld	51 16 —	400	9,3	16,3	2,2
London	51 31 —	162	9,1	15,5	3,1
Halle	51 31 —	342	9,0	17,4	0,1
Göttingen	51 32 —	408	9,1	17,6	0,6
Münster	51 58 —	193	9,5	16,8	2,2
Warschau	52 13 —	375	7,3	18,1	—3,8
Irkuzk	52 17 —	1355	0,3	18,4	—17,3
Berlin	52 31 —	120	9,0	18,3	—0,5
Dublin	53 23 —	—	9,5	15,3	4,6
Hamburg	53 33 —	36	8,6	17,0	0,3
Danzig	54 21 —	0	7,6	16,4	—1,2
Königsberg	54 43 —	0	6,2	15,9	—3,3
Kopenhagen	55 41 —	82	7,6	16,5	—0,5
Lund	55 42 —	—	7,2	16,7	—1,4
Moskau	55 46 —	522	4,4	18,2	—9,1
Kasan	55 47 —	270	2,1	17,1	—14,5
Edinburg	55 57 —	270	8,1	13,9	3,5
Upsala	59 52 —	—	5,2	15,1	—3,9
Petersburg	59 56 —	106	4,2	—	—
Bergen	60 24 —	54	8,2	14,8	2,5
Jakuzk	62 1 —	270	—10,3	17,6	—38,0
Insel Melville	74 47 —	0	—18,7	2,8	—33,5

X.

Der Magnetismus.

Ehe wir in dieses neue Gebiet eintreten, überschauen wir noch einmal die bis jetzt durchlaufene Bahn. In den drei ersten Abschnitten, in denen wir unseren Lesern die mechanischen Erscheinungen der festen, flüssigen und luftförmigen Körper vorgeführt haben, war es recht eigentlich die Bewegung, welche den Gegenstand der Betrachtung bildete. In den Abschnitten, welche die zweite Abtheilung der Physik ausmachen und vom Schalle, vom Lichte und von der Wärme handeln, konnten wir in Hinsicht des Schalles auf dem unmittelbaren Wege der Beobachtung die Art seiner Entstehung durch die schwingende Bewegung der tönenden Körper nachweisen. Vermochten wir auch nicht das Nehmliche für das Licht auf dem Wege der Erfahrung darzuthun, so ließ doch die Analogie zwischen den Erscheinungen des Schalles und des Lichtes eine ähnliche Art der Erzeugung als höchst wahrscheinlich erscheinen; und in der That liefert die Vibrationshypothese die Erklärung aller bekannten optischen Erscheinungen in einer so einfachen und vollständigen Weise, daß wohl gegenwärtig kaum noch irgend ein namhafter Physiker an der Richtigkeit derselben zweifelt. Zwischen den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme ist aber wieder eine so innige Verwandtschaft, daß sich auch die Vermuthung einer verwandten Entstehung sofort aufdrängt; und wenn es bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Erklärung aller Erscheinungen der Wärme aus dem Principe der Vibrationsbewegungen zu gewinnen, so lassen doch die in neuester Zeit in dieser Richtung gemachten Fortschritte die Erreichung dieses Zieles für eine nicht zu ferne Zukunft erwarten. Wesen des Magnetismus.

Ganz anders liegt es dagegen mit der letzten Abtheilung der Physik, in deren Bereich wir jetzt eintreten. Für die Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität, welche, wie wir weiterhin sehen werden, aufs innigste unter sich verbunden sind, fehlt eine dieselben erklärende Hypothese zur Zeit noch gänzlich, und obschon der Zusammenhang derselben mit den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme zu der Vermuthung eines ähnlichen Ursprunges führen könnte, so finden sich doch wieder eigenthümliche Gegensätze, welche auf eine besondere und abweichende Ursache hinzuweisen scheinen.

Wenn in früherer Zeit die Annahme ziemlich verbreitet war, daß Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität eigenthümliche Materien seien, und man daher in älteren physikalischen Schriften, oder auch in neueren, deren Verfasser am Alten festhalten, Ausdrücken wie: Lichtstoff, Wärmestoff, electrische und magnetische Materie, begegnet, so kann gegenwärtig, nachdem

die Hypothese eines Licht- und Wärmestoffes als gänzlich abgethan erscheint, auch die Annahme einer magnetischen und einer electrischen Materie, selbst wenn wir für diese nicht, wie für jene, eine entsprechendere Hypothese an die Stelle zu setzen vermögen, dennoch nicht länger aufrecht erhalten werden.

Erwägen wir, daß noch nicht viel über ein Jahrhundert verflossen ist, seit die Physiker angefangen haben, sich eifrig mit den Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität zu beschäftigen, daß ihre Forschungen zunächst den mannigfaltigsten Reichthum bis dahin gänzlich unbekannter Erscheinungen aufgedeckt haben, daß die Menge derselben sich durch neue Entdeckungen, welche sich in raschester Folge aneinander reihen und gar nicht selten die schon gekannten Thatsachen in einem ganz neuen und unerwarteten Lichte erscheinen lassen, noch fortwährend vergrößert, — erwägen wir ferner, daß die Aufgabe einer gesunden Naturforschung vor Allem auf die Gewinnung und Sichtung des Materials, eine, wenn nicht vollständige, doch einigermaßen umfassende Kenntniß der Erscheinungen und Feststellung der Gesetze derselben gerichtet sein muß, ehe der Versuch einer diese sämmtlich auf ein gemeinschaftliches Prinzip zurückführenden Hypothese mit einiger Wahrscheinlichkeit des Gelingens unternommen werden kann: so mag es uns nicht befremden, wenn die Lösung dieser Aufgabe einer späteren und nicht der gegenwärtigen Zeit, deren Kräfte noch durch die Förderung des Materials in vollsten Anspruch genommen werden, vorbehalten sein dürfte.

Demgemäß werden wir, von dem Folgenden rein theoretische Erörterungen mehr fern haltend, uns darauf beschränken, unseren Lesern die wichtigsten Erscheinungen nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft vorzuführen. Wir handeln zunächst vom Magnetismus und dann weiter von der Electricität.

Magnetische Erscheinungen.

Schon den alten Griechen war es bekannt, daß ein gewisses schwärzliches Eisenerz die Eigenschaft besitzt, metallisches Eisen anzuziehen. Man erzählt, daß dieses Eisen besonders bei der Stadt Magnesia in Lydien gefunden worden sei und davon den Namen Magnet erhalten habe. Es ist jedoch das Vorkommen dieses Erzes nicht auf jenen Fundort beschränkt, vielmehr ist dasselbe sehr verbreitet; dasselbe findet sich in besonders großer Menge in Schweden und Norwegen. Der Berg Taberg in Lappland und der Pumachanche in Chili sollen fast ganz aus Magneteisenstein bestehen.

Außer diesem von Natur magnetischen Eisenerze, welches aus Eisen und Sauerstoff (Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul) besteht, kann auch metallisches Eisen, besonders Stahl, magnetisch werden. Vorzüglich aus letzterem lassen sich durch Methoden, welche wir weiterhin kennen lernen werden, künstliche Magnete darstellen, welche die natürlichen an Tragkraft bei Weitem übertreffen.

Außer der eben angeführten Eigenschaft, Eisen anzuziehen, kommt dem Magneten noch eine zweite, nicht minder merkwürdige Eigenschaft zu, nehmlich, wenn er sich frei bewegen kann, eine bestimmte Lage anzunehmen. Diese Eigenschaft haben die Chinesen schon länger als tausend Jahre vor Christi Geburt gekannt; in Europa aber ist dieselbe erst im 12ten Jahrhundert bekannt und die Compaßnadel bei Beschiffung der Meere benutzt worden.

Die Nadel des Compaß besteht aus einem magnetisirten Stahlstäbchen, welches in der Mitte durchbohrt und mit einem Achathütchen versehen ist, vermittelst dessen dasselbe auf einer feinen Stahlspitze ruht. Diese Einrichtung soll dazu dienen, die Reibung möglichst zu vermindern.

Man bemerkt an jedem Magnete zwei, (seltener 4 oder 6) Stellen, an denen sich die anziehende Kraft am stärksten äußert, von denen gleichsam die Anziehung ausgeht; man nennt diese Stellen die **Pole** und die Verbindungslinie derselben die Axe des Magneten. Da in unseren Gegenden sich bei einem frei beweglichen Magneten der eine Pol gegen Norden, der andere gegen Süden wendet, so nennt man jenen den **Nordpol**, diesen den **Südpol**. Mit der Entfernung von den Polen nimmt die anziehende Kraft eines Magneten rasch ab, und gegen die Mitte giebt es eine Stelle, an welcher die magnetische Anziehung gänzlich verschwindet, und die daher der **Indifferenzpunkt** genannt wird.

(Fig. 156.)



Man kann diese Verhältnisse in einer anschaulichen Weise darstellen, wenn man einen Magneten in Eisenfeilicht legt. Fig. 156 zeigt einen Magnetstab mit dem ihn bekleidenden Eisenfeilicht. Man bemerkt dann aus der Richtung der Linien, nach denen sich dasselbe gruppirt, daß die Pole nicht ganz ans Ende, sondern in einiger Entfernung vom Ende, nach Innen hin fallen.

Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstoßung.

Wenn man zwei Magneten einander nähert, so findet man, daß zwar der Nordpol des einen und der Südpol des anderen sich gegenseitig anziehen, daß dagegen die beiderseitigen Nordpole oder die beiderseitigen Südpole sich abstoßen. Man spricht dieses Gesetz gewöhnlich kurz dahin aus:

Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen Pole ziehen sich an.

Dieses merkwürdige Gesetz giebt uns zugleich das geeignete Mittel an die Hand, zu untersuchen, ob in einem Stück Eisen bereits Magnetismus vorhanden, und von welcher Beschaffenheit derselbe ist. Nähern wir z. B. einen Eisen- oder Stahlstab, wie dieses Fig. 157 zeigt, einer Magnetnadel und finden, daß derselbe auf den einen wie auf den anderen Pol anziehend wirkt, so dürfen wir annehmen, daß in dem Eisen gar kein (oder unmerklich schwacher) Magnetismus vorhanden ist. Finden wir dagegen, daß das eine Ende den Nordpol, das andere den Südpol der Magnetnadel schon in einiger Entfernung abstößt, so besitzt ersteres selbst Nord-, letzteres Südmagnetismus. (Die Anziehung liefert ein weniger sicheres Resultat, weil ein sehr kräftiger Magnet, wie wir weiterhin sehen werden, die Pole eines schwächeren Magneten, z. B. einer feinen Magnetnadel, umzukehren vermag.)

(Fig. 157.)



Die bis jetzt besprochenen Anziehungen und Abstoßungen, welche ein Magnet gegen unmagnetisches Eisen und gegen einen andern Magneten äußert, finden nicht blos in der unmittelbarsten Nähe, sondern auch in der Entfernung statt. Sie nehmen aber mit der Entfernung sehr rasch ab. Die

magnetische Kraft folgt nehmlich demselben Gesetze, wie die Schwere; sie vermindert sich im quadratischen Verhältnisse der Entfernung, sie sinkt also in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung auf den vierten, neunten, sechzehnten Theil. Sie wird daher in größerer Entfernung auch bei den kräftigsten Magneten unmerklich.

Ob zwischen dem Magneten und dem von demselben angezogenen Eisen oder zwischen den Polen zweier Magneten sich ein leerer Raum oder Luft, Glas, Holz, Wasser oder andere Körper befinden, führt keinen erheblichen Unterschied herbei. Die Einwirkung eines Magneten auf ein in seiner Nähe befindliches Eisen oder auf einen andern Magneten wird dagegen gestört, wenn man zwischen beide eine eiserne Platte einschiebt. Den Grund dieser Verschiedenheit werden wir sogleich kennen lernen.

Das Princip der Vertheilung oder Influenz.

Es ist eine leicht zu beobachtende und bekannte Erscheinung, daß, wenn man an den Pol eines Magneten eine Nähnadel hängt, diese eine zweite und die zweite auch wohl eine dritte u. s. f. anzieht.

Untersucht man die Nähnadel, welche an dem Pole des Magneten hing, nach dem oben angegebenen Verfahren, indem man sie einer empfindlichen Magnetnadel nähert, so findet man, daß die Nähnadel selbst magnetisch geworden ist, und zwar hat das Ende, mit welchem sie an dem Magnetpole hing, den ungleichnamigen, das andere Ende den gleichnamigen Magnetismus erhalten. Hing sie z. B. an einem Nordpole, so hat das genäherte Ende Südmagnetismus, das entgegengesetzte Ende Nordmagnetismus bekommen.

Ueberhaupt wird jedes Stück Eisen, wenn es in die Nähe eines Magneten gebracht wird, selbst zum Magneten und erhält an dem genäherten Ende den ungleichnamigen, an dem abgekehrten Ende den gleichnamigen Magnetismus, so daß also alle magnetische Anziehung immer zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magneten, niemals zwischen einem Magnetpole und unmagnetischem Eisen stattfindet, indem dieses, so wie es in die Nähe des Magnetpoles kommt, selbst sich in einen Magneten verwandelt.

Fragen wir nach der Entstehung dieses Magnetismus in dem vorher unmagnetischen Eisen, so werden wir nicht annehmen können, daß dasselbe seinen Magnetismus durch Mittheilung von dem Magnetpole erhalten hat. Denn erstens war das Eisen nur mit dem einen Pole, z. B. dem Nordpole in Berührung, hat aber beide Magnetismen, Nord- und Südmagnetismus, erhalten; zweitens verliert der Magnet selbst nicht wesentlich durch diesen Versuch an Kraft, auch wenn man an denselben wiederholt größere Stücke Eisen hängt und so dieselben durch die Berührung mit dem Magnetpole selbst zu Magneten macht. — Man wird daher einfacher annehmen, daß in dem Eisen schon vorher beide Magnetismen, jedoch in allen Punkten in gleicher Stärke vorhanden waren, so daß, was der eine anzog, der andere abstieß, und sich dieselben daher gegenseitig das Gleichgewicht hielten, — daß aber bei der Annäherung an einen Magnetpol, z. B. an einen Nordpol, das bisher bestandene Gleichgewicht der beiden in dem unmagnetischen Eisen vorhandenen Magnetismen in der Art aufgehoben wurde, daß in der genäherten Hälfte der angezogene ungleichnamige, in der abgekehrten Hälfte aber der abgestoßene gleichnamige Magnetismus das Uebergewicht erhielt.

Demgemäß stellen wir überhaupt folgende Sätze auf:

1) In jedem Eisen, sowohl im magnetischen als im unmagnetischen sind jederzeit beide Magnetismen vorhanden.

2) Im unmagnetischen Eisen halten sich dieselben an jeder Stelle das Gleichgewicht.

3) Im magnetischen Eisen hat in der einen Hälfte der Nord-, in der andern der Südmagnetismus das Uebergewicht.

4) Der Nord- oder Südpol eines Magneten hebt auch in jedem in seine Nähe gebrachten Eisen das magnetische Gleichgewicht auf, ruft in der genäherten Hälfte den gleichnamigen, in der abgekehrten Hälfte den ungleichnamigen Magnetismus hervor.

Man pflegt diesem Principe dem Namen der magnetischen Vertheilung oder Influenz zu geben.

Zur Bestätigung der so eben entwickelten Ansicht führen wir noch folgende Versuche an: Wenn man einen Magnetstab (z. B. einen magnetisirten Strickstock) in der Mitte durchbricht, so zeigt nicht etwa die eine Hälfte blos Nord-, die andere blos Südmagnetismus, sondern man bekommt zwei vollständige Magnete, von denen jeder sowohl einen Nordpol, als auch einen Südpol besitzt. Legt man aber die beiden Hälften mit den vor der Trennung sich berührenden Enden wieder zusammen, so erhält man wieder einen Magneten mit einem Nordpole an dem einen, einem Südpole an dem anderen Ende und einem Indifferenzpunkte in der Mitte, indem die hier zusammenstoßenden ungleichnamigen Pole n und s, Fig. 158, sich in ihrer Wirkung nach Außen gegenseitig aufheben.

(Fig. 158.)



Wenn man überhaupt zwei Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen an einander legt, so vermögen sie jetzt, wenn sie eine ungleiche Stärke haben, weniger zu tragen, als der stärkere derselben, und wenn die zusammenliegenden ungleichnamigen Pole eine gleiche Stärke haben, so äußern sie auf ein in ihre Nähe gebrachtes Eisen, wenn dasselbe von beiden Polen einen gleichen Abstand hat, gar keine Anziehung, weil, was der eine anzieht, der andere eben so stark abstößt. — Legt man aber zwei Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen zusammen, so vermögen sie jetzt eine größere Last zu tragen, weil beide in demselben Sinne wirken.

(Fig. 159.)



Wenn man an den einen Pol, z. B. an den Nordpol eines Magnetstabes einen kleinen Schlüssel hängt, und demselben seitwärts den Südpol eines kräftigen Magnetstabes nähert, wie dieß Fig. 159 zeigt, so fällt der Schlüssel ab, indem der genäherte Südpol den in dem Schlüssel in dem Ende, mit welchem er an dem Nordpol hing, hervorgerufenen Südmagnetismus abstößt.

Wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, wird jedes Eisen schon durch die bloße Annäherung an einen Magnetpol selbst in einen Magneten verwandelt. In dieser Hinsicht zeigen jedoch weiches und hartes Eisen ein verschiedenes Verhalten; im weichen Eisen wird der Magnetismus leicht hervorgerufen, aber er verschwindet auch sehr bald wieder ganz oder größtentheils; im

harten Eisen, besonders im gehärteten Stahle wird der Magnetismus schwieriger erregt, aber er ist auch von längerer Dauer.

Magnetisirung des Stahles.

Um einem Stahlstabe kräftigen Magnetismus zu ertheilen, bestreicht man denselben mit den Polen eines starken Magneten. Man setzt hierbei wiederholt den Nordpol in der Mitte auf und streicht von da gegen das eine Ende, aber niemals rückwärts; eben so behandelt man die andere Hälfte des zu magnetisirenden Stabes mit dem Südpole. Hat man zwei starke Magnete, so kann man natürlich gleichzeitig die eine Hälfte mit dem Nordpole, die andere mit dem Südpole bestreichen. Dieses Verfahren ist überdieß vortheilhafter, da hierbei sich die bestreichenden Pole gegenseitig in ihrer Einwirkung auf den zu magnetisirenden Stab unterstützen.

Ist man im Besitz eines hufeisenförmigen Magneten, so kann man beim Magnetisiren eines Stahlstabes auf die Art verfahren, daß man das Hufeisen mit seinen Polen in der Mitte auf den Stab aufsetzt und dann vorwärts und rückwärts abwechselnd nach dem einen und dem anderen Ende hinstreicht und endlich in der Mitte aufhebt.

Soll der herzustellende Magnet ein möglichst großes Gewicht tragen, so giebt man ihm am bequemsten die Form eines Hufeisens und legt diesem einen Anker aus weichem Eisen vor. Indem hier beide Pole sich in ihrer vertheilenden Einwirkung auf den Anker aus weichem Eisen unterstützen, vermögen sie zusammen bedeutend mehr, als das Doppelte von dem zu tragen, was jeder für sich allein zu tragen im Stande ist. Um einen Magneten von sehr großer Tragkraft herzustellen, pflegt man mehrere magnetisirte Stahllamellen in der Art, wie dieß Fig. 160 zeigt, mit einander zu verbinden.

(Fig. 160.)



Man schätzt die Tragkraft eines Magneten danach, das Wievielfache seines eigenen Gewichtes er zu tragen vermag. Kleine Magnete vermögen verhältnißmäßig mehr, als große zu tragen. Als die äußerste bis jetzt erreichte Leistung kann man einen von Logeman in Harlem verfertigten Magneten ansehen, welcher 1 Pfund wiegt und 25 bis 26 Pfund zu tragen vermag. Die Tragfähigkeit eines Magneten wird vorzüglich durch die Beschaffenheit und Härte des angewendeten Stahles bedingt.

In dem folgenden Capitel werden wir sehen, daß sich mit Hülfe des electrischen Stromes aus weichem Eisen Magnete herstellen lassen, welche die in der angegebenen Weise aus Stahl verfertigten Magnete an Tragkraft noch weit übertreffen und viele Centner zu tragen vermögen. Der Magnetismus derselben ist jedoch nicht, wie der der so eben beschriebenen Stahlmagnete, andauernd, sondern nur vorübergehend; er verschwindet fast gänzlich wieder bei dem Aufhören des electrischen Stromes.

Wenn man einen Stahlstab durch Bestreichen mit einem Magneten nach den oben beschriebenen Methoden magnetisirt, so nimmt zwar die magnetische Kraft bei wiederholtem Streichen zu; sie erlangt jedoch sehr bald eine Grenze, über welche sie sich durch fortgesetztes Streichen nicht steigern läßt. Hat man einem Stahlstabe durch Streichen mit einem sehr kräftigen Magneten den

stärksten Magnetismus ertheilt, welchen derselbe überhaupt anzunehmen vermag, so verliert er einen Theil desselben wieder, wenn man einen Anker wiederholt einigemal vorlegt und abreißt. Die Tragkraft des Magneten sinkt dann auf ein gewisses Maaß herab, welches derselbe jedoch Jahre lang ziemlich unverändert beibehält, wenn man denselben gegen störende Einflüsse schützt. Ein Magnet heißt gesättigt, wenn er eben dieses Maaß von magnetischer Kraft besitzt.

Zu den Störungen sind besonders Erschütterungen und Erwärmen zu zählen. Die Kraft eines Magneten wird gänzlich zerstört, wenn man ihn bis zum Glühen erhitzt. Ja, glühendes Eisen wird sogar nicht mehr vom Magneten angezogen. Es verhält sich gegen denselben, wie andere unmagnetische Körper.

So wie hiernach das Eisen nicht unter allen Umständen die Fähigkeit besitzt, magnetisch und von Magneten angezogen zu werden, sondern diese Fähigkeit in der Rothglühhitze einbüßt, so ist auch das Eisen nicht die einzige des Magnetismus fähige Substanz; vielmehr vermögen auch noch viele andere Materien schwachen Magnetismus anzunehmen und von Magneten angezogen zu werden. Insbesondere war dieß schon seit längerer Zeit von den Metallen Nickel und Kobalt bekannt.

Diamagnetismus.

Im Jahre 1845 machte Faraday in England die merkwürdige Entdeckung, daß Substanzen, welche der Magnet nicht anzieht, wie z. B. Bergkrystall, Wasser, Spiritus, Schwefel, Phosphor, Holz, Brod, Fleisch u. a. m., ferner die meisten Metalle, insbesondere Wismuth, Spießglanz, Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Kupfer, Silber, Gold im Gegentheil von dem Magneten abgestoßen werden und zwar eben sowohl von dem Nordpole, als von dem Südpole. Diese Abstoßungen sind jedoch äußerst schwach, und es bedarf sehr starker Magnete, wie man sie am besten mit Hülfe des electrischen Stromes erhält, um dieselben nachzuweisen. —

Faraday nennt nun diejenigen Substanzen, welche vom Magneten angezogen werden, und zu denen außer Eisen, Nickel und Kobalt auch Platin, Mangan, Chrom, Graphit, Holzkohle, manche Sorten Papier, Siegellack u. a. m. gehören, paramagnetische, diejenigen aber, welche vom Magneten abgestoßen werden, diamagnetische.

Auch auf luftförmige Körper üben die Pole eines kräftigen Magneten eine Wirkung aus. Im Jahre 1851 hat Plücker in Bonn gezeigt, daß ins Besondere Sauerstoffgas von dem Magneten angezogen wird und also paramagnetisch ist, Wasserstoffgas aber abgestoßen wird und folglich diamagnetisch ist. Stickstoff- und Kohlensäuregas zeigten keine wahrnehmbare Wirkung. Atmosphärische Luft, als ein Gemenge aus Sauerstoff- und Stickstoffgas, verhielt sich paramagnetisch.

Obgleich die Erscheinungen des Diamagnetismus im Haushalte der Natur gewiß nicht ohne wesentlichen Einfluß sind, so ist uns doch über die Bedeutung derselben bei der noch so jungen Entdeckung nichts Näheres bekannt, weshalb wir auch hierbei nicht länger verweilen, sondern uns zur näheren Erörterung der durch den Magnetismus der Erde hervorgerufenen Erscheinungen wenden.

Magnetismus der Erde.

In welche Lage gegen die Himmelsgegenden wir auch immer die Nadel eines Compasses (Boussole) bringen, jedesmal kehrt dieselbe, so wie sie sich selbst wieder überlassen ist, in die nehmliche bestimmte Lage, bei welcher das eine Ende gegen Norden, das andere gegen Süden gewendet ist, zurück.

Diese merkwürdige Eigenschaft hat schon früh zu der Annahme geführt, daß die Erde selbst magnetisch ist. Als nahe liegend aber reiht sich hieran die Frage, welches die Lage der magnetischen Axe und der Pole der Erde ist. Die Erscheinungen des Erdmagnetismus sind jedoch, wie wir gleich weiter sehen werden, so verwickelt und überdieß so vielfachem Wechsel unterworfen, daß es bis jetzt noch nicht gelungen ist, dieselben auf ein einfaches Princip zurückzuführen.

Nach dem oben erörterten Gesetze, daß die gleichnamigen Pole sich abstoßen, die ungleichnamigen Pole sich anziehen, müssen wir annehmen, daß in der nördlichen Erdhälfte der Südmagnetismus, d. h. derjenige Magnetismus, welcher dem in der Nordhälfte der Magnetnadel vorwaltenden Magnetismus entgegengesetzt ist, in der südlichen Erdhälfte der Nordmagnetismus das Uebergewicht hat.

Magnetische Abweichung.

Die magnetischen Pole der Erde können jedoch nicht mit den geographischen zusammenfallen, da die Magnetnadel nur an gewissen Punkten der Erde genau nach Norden und Süden weist, an allen anderen dagegen theils nach der einen, theils nach der anderen Seite abweicht.

In ganz Europa, mit Ausnahme eines kleinen Theiles von Rußland, ist die Abweichung des Nordendes der Magnetnadel vom geographischen Meridian eine westliche; sie ist aber nicht für alle Orte dieselbe, vielmehr beträgt dieselbe

für London	. . . .	ohngefähr 23°
„ Brüssel	. . . .	„ 20°
„ Göttingen	. . . .	„ 17°
„ Berlin	. . . .	„ 16°
„ Petersburg	. . . .	„ 6°
„ Moskau	. . . .	„ 3°

Wenn man an einem Orte der Erde sich in der Richtung, welche die Magnetnadel anzeigt, einen Kreis so um die Erde herum gelegt denkt, daß der Mittelpunkt desselben in den Mittelpunkt der Erde fällt, so nennt man diesen Kreis den **magnetischen Meridian** des Ortes. Diese magnetischen Meridiane fallen, da, wie schon oben bemerkt, die Magnetnadel nur in gewissen Gegenden der Erde genau nach Norden zeigt, im Allgemeinen nicht mit den geographischen Meridianen zusammen, sondern weichen mehr oder weniger von denselben ab. Der Winkel, welchen beide mit einander bilden, wird die **magnetische Abweichung** oder **Declination** genannt.

Während die geographischen Meridiane der Erde sich sämmtlich in den nehmlichen Punkten, in den beiden geographischen Polen der Erde, durchschneiden, gilt dasselbe keineswegs auch von den magnetischen Meridianen. Eine solche Convergenz verschiedener Meridiane nach dem nehmlichen Punkte hin findet nur in der Nähe gewisser Stellen statt, welchen man eben darum den Namen der magnetischen **Convergenzpunkte** oder **Pole** gegeben hat.

Die in Fig. 161 beigefügte Karte giebt die Lage der Convergenzpunkte für das Jahr 1825 und diejenigen Linien an, auf denen man in den verschiedenen Gegenden der Erde, wenn man immer der Magnetnadel folgte, zuletzt zu dem einen oder anderen der beiden Convergenzpunkte gelangen würde. Diese Linien sind nicht, wie die geographischen Meridiane, Kreislinien, sondern Linien von eigenthümlich abweichender Krümmung.

Der eine der beiden Convergenzpunkte liegt im nördlichen Amerika in der Nähe der Repulsebay in etwa 70° nördlicher Breite und 97° westlicher



(Fig. 161.)

Länge von Greenwich. — Nachdem besonders Hansteen in Christiania durch die Vergleichung der im nördlichen Amerika angestellten Beobachtungen auf diesen Convergenzpunkt hingewiesen, ist derselbe im Jahre 1831 durch den Seefahrer Roß, nahe übereinstimmend mit Hansteen's Angaben, wirklich aufgefunden worden. Als Roß diesen Punkt umfuhr, machte auch die Magnetnadel einen vollständigen Umlauf, so daß das Ende der Nadel, welches in unseren Gegenden nach Norden gerichtet ist, fortwährend nach dem Punkte hinwies und daher nach Süden zeigte, als Roß sich nördlich von diesem Punkte befand. In der unmittelbaren Nähe desselben aber hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; sie zeigte erst in der Entfernung mehrerer Meilen von demselben wieder das Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen.

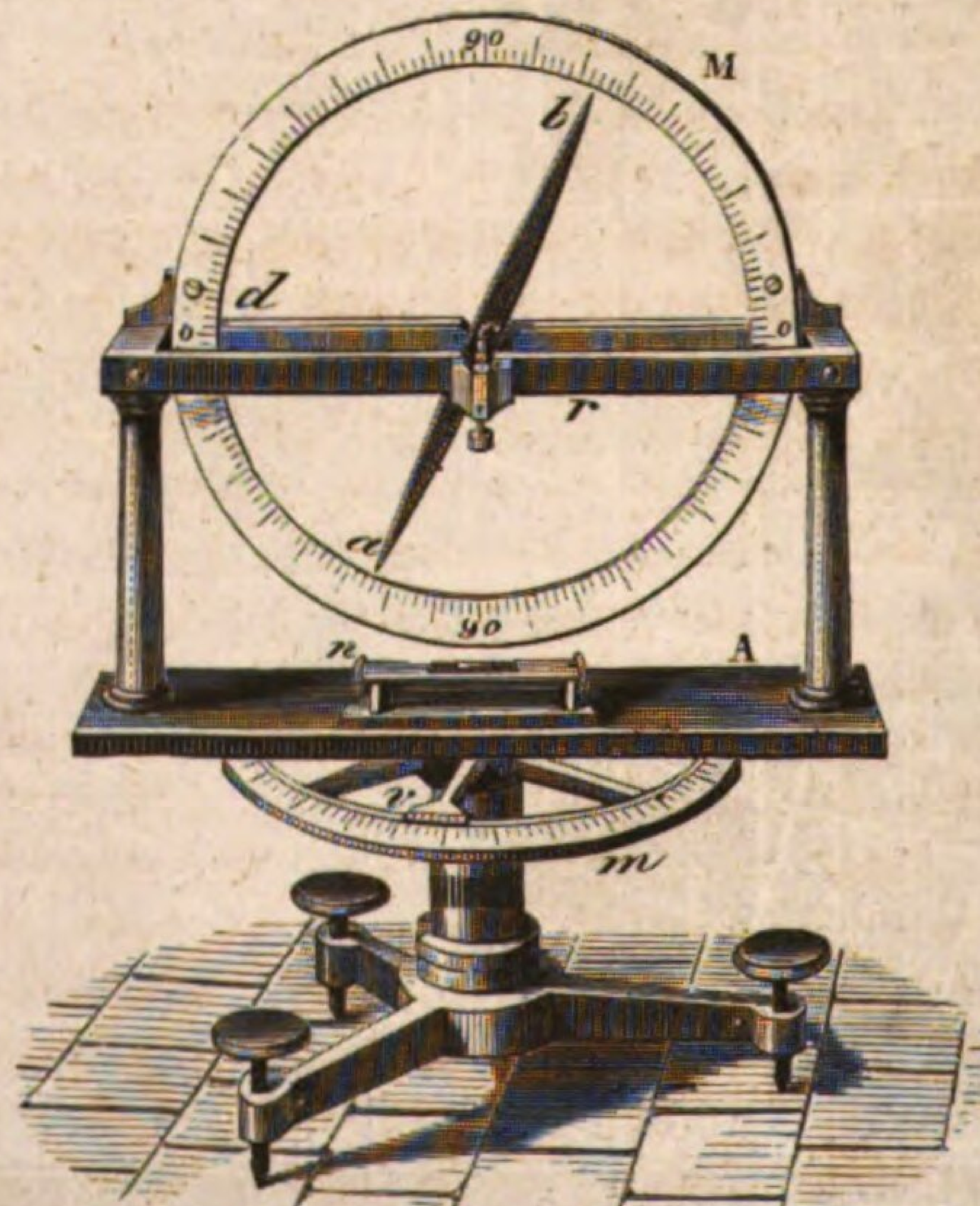
Ein zweiter Convergenzpunkt findet sich im Süden von Neuholland in ohngefähr 75° südl. Breite und 154° östl. Länge von Greenwich. Auch dieser Punkt ist durch Roß näher bestimmt, jedoch nicht, wie der nördliche, ganz erreicht worden.

Die beiden magnetischen Pole oder Convergenzpunkte liegen einander nicht, wie die geographischen Pole, diametral gegenüber; sie sind nicht um einen Halbkreis von 180°, sondern nur um einen Bogen von etwa 161° von einander entfernt.

Magnetische Neigung.

Wir haben oben angegeben, daß in der unmittelbaren Nähe des nördlichen Convergenzpunktes die Magnetnadel ihre Richtkraft eingebüßt hatte. Diese Erscheinung beruhte offenbar darauf, daß an dieser Stelle die Kraft des Erdmagnetismus eine senkrecht in die Tiefe gehende Richtung hatte und daher auf die nur in horizontaler Richtung bewegliche Nadel des Compasses keine Wirkung ausüben konnte. Da wir uns dem nördlichen Pole bei Weitem näher, als dem südlichen befinden, so läßt sich erwarten, daß in unseren Gegenden die magnetische Kraft der Erde nicht wagerecht, sondern schief in die Tiefe gehend gerichtet sein wird. Die gewöhnliche Compaßnadel kann die schiefe Neigung nicht anzeigen, da sie nur eine horizontale Drehung zuläßt. Um diese Neigung zu messen, dient das Inclinatorium.

(Fig. 162.)



Dieses besteht aus einer Magnetnadel ab, Fig. 162, welche um eine genau durch ihren Schwerpunkt gehende, wagerechte Axe drehbar ist und über einem verticalen Kreise M spielt. Das Gestell, an welchem dieser Kreis befestigt ist, läßt sich vermittelst des Armes v in wagerechter Richtung um den Mittelpunkt des eingetheilten Kreises m drehen. Drei Stellschrauben und eine Wasserwage n dienen

dazu, dem Instrumente eine genau wagerechte Stellung zu geben. Nachdem dieses erreicht worden ist, dreht man den Arm v so, daß der Kreis M in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Die Nadel nimmt dann eine stark gegen den Horizont geneigte Lage an, und der Punkt des eingetheilten Kreises M, auf welchen das Nordende der Nadel a hinweist, giebt die magnetische Neigung an.

Da, wie wir früher gesehen, die Pole der Nadel keinesweges mit den Endspitzen derselben zusammenfallen, da dieselben nicht einmal nothwendig in der diese Spitzen verbindenden Linie liegen, sondern auch etwas seitwärts von dieser Linie fallen können, was von der Art des beim Magnetisiren der Nadel angewendeten Streichens abhängen dürfte, so läßt man die Drehungsaxe der Nadel lose in zwei an dem Gestelle angebrachten Pfannen ruhen, so daß man die Nadel leicht in der Art umlegen kann, daß die vorher nach r gewendete Seite derselben jetzt nach d hin gerichtet ist. Man stellt demgemäß bei jeder Abmessung der magnetischen Neigung zwei Beobachtungen an, indem man die Nadel in die beiden angegebenen Lagen bringt, und nimmt dann aus beiden Beobachtungen das Mittel.

In ähnlicher Art und aus gleichen Gründen hat man auch bei der Abmessung der magnetischen Abweichung oder Declination zu verfahren. Man legt nehmlich die zu dieser Abmessung dienende Compaßnadel so um, daß die vorher nach oben gewandte Seite nun nach unten gekehrt ist, und nimmt dann das Mittel aus beiden Beobachtungen.

So wie die magnetische Abweichung ist auch die Neigung für die verschiedenen Gegenden der Erde sehr verschieden. Dieselbe nimmt auf der nördlichen Erdhälfte im Allgemeinen mit der Annäherung an den Convergenzpunkt zu, mit der Entfernung von demselben ab. Sie beträgt z. B.:

für Petersburg	ohngefähr	70°	nördlich,
„ Berlin und Göttingen	„	67°	„
„ Malta	„	53°	„
„ Alexandrien	„	44°	„
„ Mokka in Afrika	„	7°	„
„ St. Helena	„	22°	südlich,
„ das Cap der guten Hoffnung .	„	53°	„

Während die Inclinationsnadel, als Roß den oben näher bezeichneten Convergenzpunkt erreicht hatte, sich, mit dem Nordende nach unten gerichtet, senkrecht stellte, giebt es in der Nähe des geographischen Aequators Gegenden, in denen die Inclinationsnadel eine wagerechte Lage einnimmt. Wenn man die Punkte der Erdoberfläche, an denen dieses der Fall ist, sich mit einander verbunden denkt, so erhält man eine zusammenhängende Linie, welche der magnetische Aequator genannt wird und deren Verlauf die in Fig. 161 abgebildete Charte darstellt.

Man wird hier bemerken, daß der magnetische Aequator den geographischen Aequator an zwei Stellen, einmal an der Westküste von Afrika und das anderemal im stillen Ocean ohngefähr in der Mitte zwischen Asien und Amerika durchschneidet. Von den beiden ungleichen Hälften, in welche durch diese Punkte der magnetische Aequator getheilt wird, entfernt sich die durch Afrika und Asien gehende bis auf etwa 12 Grad nördlich, die durch Südamerika gehende bis auf 14 Grad südlich vom geographischen Aequator.

An der Südseite des magnetischen Aequators ist nicht, wie bei uns, das Nordende, sondern das Südende der Inclinationsnadel nach unten ge-

neigt. Wenn man diejenigen Orte, welche eine gleiche magnetische Neigung haben, durch Linien verbindet, so erhält man Linien, welche den Namen isoklinische führen und ebenfalls auf der Charte in Fig. 161 abgebildet sind. Dieselben laufen in der Nähe des magnetischen Aequators diesem nahezu parallel und wenden in der Nähe der magnetischen Pole diesen ihre hohle Seite zu.

Die Kraft des Erdmagnetismus giebt nicht bloß der in einem wagerechten Kreise drehbaren Declinationsnadel und der in senkrechter Ebene beweglichen Inclinationsnadel eine bestimmte Lage, sie äußert auch ihren Einfluß auf alles an der Erdoberfläche befindliche Eisen und ertheilt demselben nach dem Principe der Influenz magnetische Polarität. Nähert man dem unteren Ende eines aufrecht stehenden Eisenstabes, z. B. der senkrechten Stange eines Fensterkreuzes, eine Magnetnadel, so findet man, daß das Nordende der Nadel abgestoßen, das Südende aber angezogen wird, zum Beweise, daß die Eisenstange am unteren Ende einen Nordpol hat. Bringt man dagegen die Magnetnadel in die Nähe des oberen Endes der Eisenstange, so wird das Nordende angezogen und das Südende abgestoßen, und dieses Ende hat folglich Südmagnetismus. Macht man den Versuch mit einem senkrecht gehaltenen Stabe aus recht weichem Eisen, so findet man, daß bei Umkehrung des Stabes sich auch sofort seine Pole umkehren, so nehmlich, daß das untere Ende in Folge der Einwirkung des Erdmagnetismus jedesmal Nord-, das obere Ende Südmagnetismus zeigt. Die senkrechte Lage ist jedoch nicht die einzige, ja nicht einmal die vortheilhafteste, in welcher der Erdmagnetismus seinen Einfluß auf übrigens unmagnetisches Eisen äußert. Die Influenz desselben auf einen Eisenstab ist am stärksten, wenn der Stab eine der Richtung des Erdmagnetismus, wie sie durch die Inclinationsnadel angezeigt wird, parallele Lage hat; sie ist um so schwächer, je mehr der Stab von dieser Richtung abweicht, und sie verschwindet, wenn der Stab in eine Lage gebracht wird, welche zur Richtung der Inclinationsnadel senkrecht ist.

Man kann durch die Einwirkung des Erdmagnetismus auch einem Stabe aus hartem Eisen oder Stahl dauernden Magnetismus ertheilen, wenn man den Stab mit seinem unteren Ende auf eine Unterlage von weichem Eisen stützt und dann auf das obere Ende einige Schläge mit einem Hammer ausübt.

Intensität des Erdmagnetismus.

Das Vorhergehende betraf hauptsächlich die Richtung der magnetischen Kraft für die verschiedenen Gegenden der Erde; eine sehr wesentliche, vorzüglich durch Al. von Humboldt angeregte Frage betrifft die Größe dieser Kraft oder, wie man gewöhnlich sagt, die Intensität des Erdmagnetismus.

Wir haben früher gesehen, daß die Schwere nicht für alle Gegenden der Erde eine gleiche Größe hat, sondern von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und daß wir die Kenntniß dieser Verschiedenheit den Beobachtungen der Pendelschwingungen verdanken. Eben so hat Alex. von Humboldt die große Verschiedenheit zwischen der Stärke des Erdmagnetismus in Europa und in Südamerika durch die Beobachtungen der Schwingungen der Magnetnadel nachgewiesen. Derselbe fand nehmlich, daß seine Magnetnadel innerhalb 10 Minuten in Peru am magnetischen Aequator nur 211 Schwingungen, in Paris dagegen in der nehmlichen Zeit 245 Schwingungen machte. Es verhalten sich aber die magnetischen Kräfte wie die Quadrate dieser Zahlen, also ohngefähr wie 3 zu 4.

Im Allgemeinen nimmt die Intensität des Erdmagnetismus von den beiden Polen nach dem magnetischen Aequator hin ab. Sie ist jedoch an

diesem nicht überall von gleicher Stärke, auch an den Polen selbst nicht am stärksten. Die größte in der Nähe des südlich von Neuholland gelegenen Poles beobachtete Intensität übertrifft die schwächste am Aequator fast um das Dreifache, während die Schwere am Aequator nur ohngefähr um ein Zweihundertel kleiner, als an den geographischen Polen ist.

Die Declination, die Inclination und Intensität des Erdmagnetismus sind nicht bloß für verschiedene Orte der Erde verschieden; sie behalten auch an dem nehmlichen Orte nicht beständig die nehmliche Größe. Die Magnetnadel, welche gegenwärtig fast in ganz Europa gegen Westen abweicht, zeigte vor 300 Jahren eine östliche Abweichung. Die Größe dieser östlichen Abweichung betrug für Paris im Jahre 1580 $11^1/_2$ Grad; dieselbe verminderte sich allmählig und im Jahre 1663 zeigte die Magnetnadel gerade nach Norden; sie fuhr jedoch fort sich nach Westen zu bewegen und erreichte im Jahre 1814 die größte westliche Abweichung von $22^1/_2$ Grad. Veränderungen in der Richtung und Stärke des Erdmagnetismus.

Nachdem also die Magnetnadel von 1580 (und vielleicht von noch früherer Zeit her) bis zum Jahre 1814 sich beständig von Osten nach Westen hin bewegt hat, schwingt sie jetzt allmählig in der entgegengesetzten Richtung von Westen nach Osten. Wie lange aber diese Schwingung, in Folge deren sich nun die westliche Abweichung fortwährend vermindert, andauern wird, darüber werden durch unmittelbare Beobachtung erst spätere Jahrhunderte entscheiden können. Bei genauerer Erforschung der Gesetze dieser Schwingung dürfte sich jedoch wahrscheinlich schon früher aus theoretischen Gründen die Periode derselben ableiten lassen, so wie ja auch die Astronomen aus den in dem Zeitraume nur weniger Jahre angestellten Beobachtungen eines neu entdeckten Planeten (des Neptun) die Jahrhunderte umfassende Periode seines Umlaufes zu berechnen vermögen.

So wie im mittleren Europa gegenwärtig die Declination sich vermindert, so ist auch die Inclination in der Abnahme begriffen. Die Beobachtungen der magnetischen Neigung umfassen jedoch kaum noch ein Jahrhundert, und wir sind daher nicht im Stande, mit Sicherheit darüber zu entscheiden, ob die Bewegung der Inclinationsnadel in einer früheren Periode, eben so wie bei der Declinationsnadel, in der entgegengesetzten Richtung erfolgt ist. Zwischen beiden Bewegungen zeigt sich aber die Verschiedenheit, daß die Declinationsnadel von Westen nach Osten mit zunehmender Geschwindigkeit (ähnlich wie ein Pendel, nachdem es bis zum äußersten und höchsten Punkte emporgestiegen ist und dann wieder umkehrt) fortschreitet, das Nordende der Inclinationsnadel dagegen mit abnehmender Geschwindigkeit sich aufwärts bewegt.

In Brüssel betrug im Jahre

1832	die Declination	22° 18′,	die Inclination	68° 49′,
1842	„ „	21° 35′,	„ „	68° 15′,
1852	„ „	20° 18′,	„ „	67° 49′.

Innerhalb der ersteren 10 Jahre von 1832 bis 1842 ist also das Nordende der Declinationsnadel um 43, in den letzteren 10 Jahren von 1842 bis 1852 aber um 77 Minuten in der Richtung von Westen nach Osten fortgeschritten. Dagegen hat sich das Nordende der Inclinationsnadel innerhalb der ersteren 10 Jahre um 34, in den letzteren 10 Jahren nur um 26 Minuten aufwärts bewegt.

Da wir nicht einmal die Periode, in welcher die Veränderungen der magnetischen Abweichung und Neigung ohne Zweifel eingeschlossen sein dürften,

kennen, so kann es nicht befremden, wenn uns zur Zeit die Ursache derselben noch verborgen ist.

Außer den so eben besprochenen größeren Bewegungen zeigt insbesondere die Declinationsnadel noch kleinere, nur wenige Minuten umfassende tägliche Schwankungen, welche ohne Zweifel ihren Grund in dem Wechsel der Tageswärme haben dürften, da sie mit diesem in die nehmliche Periode eingeschlossen sind.

Wie wir schon oben gesehen, wird der Magnetismus durch die Wärme geschwächt. Auf diese Erfahrung gestützt, hat Dove in Berlin für die täglichen Schwankungen der Magnetnadel folgende Erklärung gegeben: des Morgens werden die östlichen Gegenden der Erde durch die Sonne früher und stärker erwärmt, als die westlichen; es müssen folglich die letzteren stärker anziehend auf die Magnetnadel wirken, als die östlichen. Das Nordende der Nadel bewegt sich daher am Vormittage gegen Westen. Einige Stunden Nachmittags dagegen geht diese Bewegung in die entgegengesetzte über, weil jetzt die Verhältnisse der Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen die entgegengesetzten sind, und hält etwa bis 10 Uhr Abends an. Während der Nacht bis gegen Sonnenaufgang steht die Nadel ziemlich still.

Die Größe der Schwankungen ist für einzelne Gegenden der Erde, auch in verschiedenen Jahreszeiten verschieden; sie betragen für Göttingen im Sommer ohngefähr $12\frac{1}{2}$, im Winter 6 Minuten. Auch dieser Umstand stimmt mit der obigen Erklärung überein, da die Ungleichheit zwischen der Temperatur des Tages und der Nacht im Sommer viel beträchtlicher, als im Winter zu sein pflegt.

Außer diesen regelmäßigen periodischen Schwankungen, welche man Variationen nennt, zeigt die Magnetnadel auch zuweilen unregelmäßige Bewegungen, welchen man den Namen Störungen giebt. Bei diesen geht die sonst pendelartige ruhige Schwingung der Nadel in eine regellos vor- und rückwärts springende Bewegung über.

Diese Störungen pflegen besonders zur Zeit eines Nordlichtes einzutreten und zeigen sich auch an Orten, welche von dem Ursprung dieses Phänomens sehr weit entfernt sind, und in denen dasselbe daher selbst nicht mehr wahrgenommen wird. — Der folgende Abschnitt wird uns den möglichen Zusammenhang des Nordlichtes mit dem Magnetismus der Erde zeigen.

XI.

Die Electricität.

Der Name Electricität stammt von dem griechischen Worte Electron, welches Bernstein bedeutet. Schon 600 Jahre vor Christi Geburt soll ein griechischer Philosoph, Thales von Milet, die Eigenschaft des Bernsteins, leichte Körper anzuziehen, welche derselbe durch Reiben erlangt, gekannt haben. Weiterhin wird auch noch die gleiche Eigenschaft von einem Edelsteine erwähnt, welcher unter dem Namen Lynkurer aufgeführt wird, worunter wahrscheinlich der Hyacinth (Zirkon) zu verstehen ist. Kenntnisse des Alterthums von der Electricität.

Auf dieses geringe Maaß beschränkt sich die ganze Kenntniß von der Electricität, welche sich überhaupt bei den alten Griechen vorfindet. Im Verlaufe der Jahrhunderte wird auch noch die gleiche Eigenschaft, wie am Bernstein, an der mit dem Namen Gagat bezeichneten Pechkohle entdeckt.

Erst im Jahre 1600 nach Christi Geburt erfährt die Kenntniß der electrischen Erscheinungen eine wesentliche Erweiterung. Der Engländer Gilbert zeigt nehmlich in seiner in diesem Jahre, unter dem Titel de Magnete, herausgegebenen Schrift, daß außer Bernstein und Gagat auch zahlreiche andere Körper, insbesondere der Diamant, Saphir, Beryll, Bergkrystall und andere Edelsteine, ferner Glas, Schwefel, Siegellack und viele andere Körper durch Reiben die Fähigkeit erlangen, leichte Körper anzuziehen. Gilbert's Versuche.

Neben anderen interessanten Beobachtungen, welche Gilbert in der angeführten Schrift mittheilt, macht derselbe auch die noch heutigen Tages von allen, welche sich mit Versuchen über die durch Reibung erregte Electricität beschäftigen, bestätigte Bemerkung, daß die electrischen Erscheinungen bei trockener Luft, nördlichen und östlichen Winden stärker hervortreten, als bei feuchter Luft und südlichen Winden.

Gilbert's für die Electricitätslehre Epoche machende Schrift erschien, wie schon bemerkt, im Jahre 1600. Wir können nicht unterlassen, unsere Leser darauf hinzuweisen, daß von dem Schlusse des 16ten und dem Anfange des 17ten Jahrhunderts überhaupt die neuere Physik datirt. Um diese Zeit wurden das Fernrohr, das Mikroscop und das Thermometer erfunden. 1602 entdeckte Galilei die Gesetze des Falles und der Pendelschwingungen und 1610 der unsterbliche Keppler die Gesetze der Planetenbewegungen.

Wenige Blätter würden hinreichen, das, was bis zum Jahre 1600 an physikalischen Kenntnissen überhaupt vorhanden war, zusammenzufassen. Von diesem Jahre an aber folgen sich, in immer kürzeren Zwischenräumen sich an einander drängend, die mannigfaltigen und großartigen Entdeckungen, durch welche gegenwärtig die Physik zu einer so weiten und reichen Wissenschaft angewachsen ist. Die Geschichte der Electricitätslehre giebt uns die

geeignetste Gelegenheit, um an einem Zweige der gesammten physikalischen Wissenschaft unseren Lesern die Verhältnisse dieses Wachsthums vor Augen zu stellen.

Den wichtigsten Fortschritt nach Gilbert's Entdeckung vom Jahre 1600 erfährt die Electricitätslehre durch den Engländer Gray, welcher im Jahre 1729 den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern auffindet.

Während also die erste Periode von Thales bis Gilbert über zwei Jahrtausende umfaßt, begreift die zweite Periode nur wenig mehr, als ein Jahrhundert, aber doch noch immer ein volles Jahrhundert.

Ehe wir von der so wichtigen Entdeckung Gray's ausführlicher handeln, bemerken wir noch, daß in dem Zeitraume von Gilbert bis Gray sich in Deutschland besonders Otto von Guerike, in England Boyle, Wall und Hawksbee mit electrischen Versuchen beschäftigt haben. Boyle und Guerike beobachteten (1670) das electrische Licht, ersterer an einem geriebenen Diamanten, letzterer an einer geriebenen Schwefelkugel; Wall aber bemerkte (1708) den electrischen Funken und das denselben begleitende Knistern, welche sich zeigten, wenn Jemand einem geriebenen Stücke Bernstein den Finger näherte. Merkwürdiger Weise vergleicht er bereits Beides mit dem Blitze und dem Donner. Hawksbee stellte (1709) mit Hilfe der Luftpumpe Versuche über die electrischen Erscheinungen im luftverdünnten Raume an und beobachtete das sich hier zeigende strahlende Licht.

Electrische Erscheinungen.

Wollen unsere Leser die bis jetzt aufgeführten Erscheinungen, Anziehung und electrisches Licht, in der einfachsten Weise selbst hervorrufen, so werden sie sich hierzu am bequemsten einer Siegellackstange bedienen, welche sie an wollenem Zeuge (vielleicht an der eigenen Kleidung) reiben. Auf dem Tische herumgestreute kleine Papierschnitzchen, Strohhälmchen oder andere leichte Körper werden dann mit Lebhaftigkeit von der geriebenen Siegellackstange angezogen. Im Dunkeln erscheint, wenn derselben die Spitze des Fingers oder der Knöchel des krummgebogenen Fingers genähert wird, ein kleiner Funken, welcher von einem schwachen Knistern begleitet ist. Der Versuch gelingt, wie alle Versuche über Reibungselectricität, im Winter am besten in der Nähe des geheizten Ofens.

Gray's Entdeckung.

Nach dieser Einschaltung gehen wir nun zu der großartigen Entdeckung über, welche der Engländer Gray im Jahre 1729 machte, und mit der eine ganz neue Epoche für die Electricitätslehre beginnt. Vor Gray's Entdeckung nahm man an, daß überhaupt nur gewisse Körper, wie Glas, Harz, Schwefel u. dgl., die Fähigkeit besäßen, electrische Erscheinungen zu zeigen, in ähnlicher Art, wie unter den bekannteren Körpern allein das Eisen magnetisch wird. Man nannte daher jene Körper electrische; die übrigen Körper aber, bei denen es trotz aller angewandten Mühe nicht gelingen wollte, dieselben durch Reiben electrisch zu machen, nannte man unelectrische. Indem Gray's Entdeckung Aufschluß über den Grund dieser Verschiedenheit gewährte, bot sie auch die Mittel dar, die Electricität von den geriebenen Körpern auf nicht geriebene zu übertragen, auf andere Körper fortzuleiten; kurz sie ermöglichte für ein folgendes Jahrhundert die Erfindung des electrischen Telegraphen. Doch wir wenden uns zu der Geschichte von Gray's Entdeckung selbst.

Im Februar des Jahres 1729 bemerkte Gray, mit electrischen Versuchen beschäftigt, bei denen er sich einer an beiden Enden zur Abhaltung des Staubes durch Korke verschlossenen Glasröhre bediente, als er dem oberen

Ende dieser Röhre eine Flaumfeder gegenüber brachte, daß diese nicht nach der Röhre, sondern nach dem Korkstöpsel hinflog. Gray erfaßte und verfolgte sofort diese für die damalige Zeit, in welcher, wie schon oben bemerkt, die electrische Fortleitung noch unbekannt war, höchst auffallende Erscheinung mit eben so viel Scharfsinn, als Ausdauer. Nachdem er sich wiederholt überzeugt, daß die Flaumfeder nicht bloß von der geriebenen Röhre, sondern auch von dem Korkstöpsel angezogen (und nach der Berührung wieder abgestoßen) wurde, und hieraus den so wichtigen Schluß gezogen hatte, daß die electrisch gemachte Röhre dem Stöpsel ihre anziehende Kraft mitgetheilt habe, steckte er, um zu sehen, ob sich die Electricität noch weiter fortleiten lasse, zunächst ein 4 Zoll langes hölzernes Stäbchen in den Kork und befestigte an das Ende desselben eine elfenbeinerne Kugel. Er bemerkte, daß die Kugel mit noch größerer Lebhaftigkeit, als der Kork die Flaumfeder anzog

Als er statt des kurzen Stäbchens längere Dräthe zur Verbindung der Kugel mit dem Korke anwendete, wurde das Schwanken derselben beim Reiben der Röhre unbequem. Er befestigte daher die Kugel an einen Bindfaden, welchen er vermittelst einer Schleife an die Röhre hing, und indem er auf einen 26 englische Fuß (16 engl. Fuß sind ohngefähr gleich 15 par. Fuß) hohen Balkon stieg, fand er, daß auch jetzt die an dem Ende des Bindfadens befestigte Kugel leichte Körper, welche auf dem Hofe lagen, anzog. Um die Electricität in horizontaler Richtung noch weiter fortzuleiten, als in senkrechter Richtung ausführbar war, befestigte er einen Bindfaden mit dem einen Ende an einen Nagel, welchen er in einen Balken geschlagen hatte, und brachte an dem andern Ende des herabhängenden Bindfadens eine Schleife an, durch welche er den Bindfaden hindurchführte, welcher mit dem einen Ende vermittelst der Schleife mit der Röhre in Verbindung stand, an dem andern Ende aber die Kugel trug, so daß also der Theil dieses Bindfadens von der Röhre bis zur Schleife des an den Nagel befestigten Bindfadens horizontal lief, der übrige Theil aber von da bis zur Kugel senkrecht herabhing. Da jedoch jetzt nach dem Reiben der Röhre die Kugel keine Spur von electrischer Anziehung zeigte, so zog er hieraus den vollkommen richtigen Schluß, daß die Electricität durch den von dem Balken herabhängenden Bindfaden nach diesem fortgeleitet werde, so daß nichts oder nur sehr wenig zu der elfenbeinernen Kugel gelangen konnte. Trotz alles Nachdenkens wollte es ihm nicht gelingen, ein Mittel, dieses zu verhindern, ausfindig zu machen.

Als Gray einen Monat später einen Freund Namens Wheeler besuchte und denselben mit seinen electrischen Versuchen und dem Ausbleiben des Erfolges in dem zuletzt erzählten Falle bekannt machte, schlug ihm dieser vor, statt der hänfenen Schnur, welche dazu diente, den die Electricität fortleitenden Bindfaden zu tragen, eine seidene Schnur anzuwenden. Gray hielt diesen Vorschlag für angemessen, indem er meinte, daß durch die dünnere seidene Schnur weniger Electricität verloren gehen dürfte, als durch die dickere hänfene Schnur.

Um den Versuch auszuführen, spannten sie eine Schnur, deren mittlerer Theil aus Seide bestand, in horizontaler Richtung aus und ließen quer über die seidene Schnur den Bindfaden gehen, welcher die Electricität von der Röhre zur Kugel in der schon früher beschriebenen Weise fortleiten sollte. Der wagerechte Theil dieses Bindfadens von der Röhre bis zur seidenen Schnur hatte eine Länge von achtzig und einem halben engl. Fuß; von da

hing der Bindfaden noch ohngefähr neun Fuß herab. Als sie nun die Röhre rieben, fanden sie, daß leichte Körper von der Kugel angezogen wurden; ja es gelang dieß selbst dann noch vollkommen, als sie die Schnur bis über hundert Fuß verlängerten.

Sie versuchten nun weiter die Schnur mehrmals hin und her zu führen. Hierbei ereignete es sich jedoch, daß die seidene Schnur in Folge des zu großen Gewichtes zerriß. Sie ersetzten hierauf dieselbe durch einen Messingdraht, und obschon dieser nicht dicker war, als die seidene Schnur, blieb doch jetzt aller Erfolg aus, indem der dünne Messingdrath die Electricität eben so fortleitete, wie der früher angewandte dickere Bindfaden. Sie erkannten nun, daß die electrische Fortleitung nicht, wie sie anfangs vermuthet hatten, von der Dicke oder Dünne der angewendeten Schnur, sondern von der Substanz derselben, ob sie aus Seide oder einem anderen Material bestand, abhing. Als sie daher wieder seidene Schnüre von hinreichender Stärke zum Tragen der fortleitenden hänfenen Schnur gebrauchten, gelang es ihnen die Electricität 765 Fuß weit fortzuführen, ohne daß sie trotz der weiten Entfernung eine merkliche Schwächung in der Wirkung beobachteten.

Bei der großen Wichtigkeit von Gray's Entdeckung, zumal für unsere Tage, hoffen wir auf die Nachsicht unserer Leser rechnen zu dürfen, wenn wir so lange bei der Geschichte derselben verweilt haben. Besteht die Kunst des Telegraphirens im Wesentlichen darin, bestimmte Zeichen in der Ferne hervorzubringen, so ist Gray ohnstreitig derjenige, welcher zuerst mit Hülfe der Electricität auf die Entfernung von mehreren hundert Fuß telegraphirt hat.

Endlich führen wir noch kurz an, daß Gray seine Entdeckung sofort in der mannigfaltigsten Weise ausbeutete, und daß er die verschiedenartigsten Körper, unter anderen auch Knaben, welche er in härenen Schnüren aufhing, electrisirte.

Gute und schlechte Leiter. Zu Folge der Entdeckung Gray's unterscheiden wir überhaupt gute und schlechte Leiter der Electricität. Die besten Leiter der Electricität sind die Metalle, demnächst Kohle, ferner Wasser und alle wässerigen Flüssigkeiten, daher auch thierische und Pflanzenkörper im saftreichen Zustande, feuchtes Erdreich u. dgl. m. Schlechte Leiter sind Glas, alle durchsichtigen Edelsteine, Schwefel, Harz, Seide, Haare, trocknes Holz, Papier, die verschiedenen Fette und Oele und trockene Luft. Zwischen guten und schlechten Leitern findet jedoch keine scharfe Scheidung, sondern ein allmähliger Uebergang durch die sogenannten Halbleiter statt, zu denen Elfenbein, Knochen, Horn, Marmor, Kreide, Gyps, überhaupt die meisten undurchsichtigen Erden und Steine gerechnet werden.

Ueberhaupt unterscheiden sich gute und schlechte Leiter nur durch die verschiedene Größe des Widerstandes, welchen sie der Fortpflanzung der Electricität entgegensetzen. Gute Leiter verbreiten die ihnen mitgetheilte Electricität mit Leichtigkeit über ihre ganze Oberfläche, und eben so verlieren sie dieselbe, wenn sie berührt werden, in ihrer ganzen Ausdehnung. Schlechte Leiter empfangen und verlieren die Electricität nur an der berührten Stelle und in der nächsten Umgebung derselben.

Schlechte Leiter wie Glas, Siegellack, Schwefel lassen sich, auch wenn man dieselben in der Hand hält, durch Reiben electrisiren. Bei guten Leitern gelingt dieses dagegen nicht, weil die erregte Electricität in den menschlichen Körper und durch diesen in die Erde fortgeleitet wird. Sollen dieselben durch Reiben oder Mittheilung electrisirt werden, so müssen sie isolirt, d. h.

ringsum von schlechten Leitern umgeben sein. — Als Isolatoren wendet man am gewöhnlichsten Glas, Gutta-Percha und Seide an.

Weil aber auch die schlechtesten Leiter keine absoluten Nichtleiter sind, so verliert jeder electrisirte Körper, auch wenn er auf's sorgfältigste isolirt ist, mit der Zeit die ihm mitgetheilte oder in ihm erregte Electricität. Je kräftiger diese ist, um so leichter vermag dieselbe auch den Leitungswiderstand, welchen ihr die Isolatoren entgegensetzen, zu überwinden, und um so größer sind daher auch die Verluste an Electricität, welche der electrisirte Körper in einer bestimmten Zeit erleidet. Besitzt dagegen ein Körper nur schwache Electricität, oder hat sich die ursprüngliche kräftige Electricität desselben bereits bis auf ein geringes Maaß vermindert, so behält derselbe seinen electrischen Zustand längere Zeit fast unverändert bei.

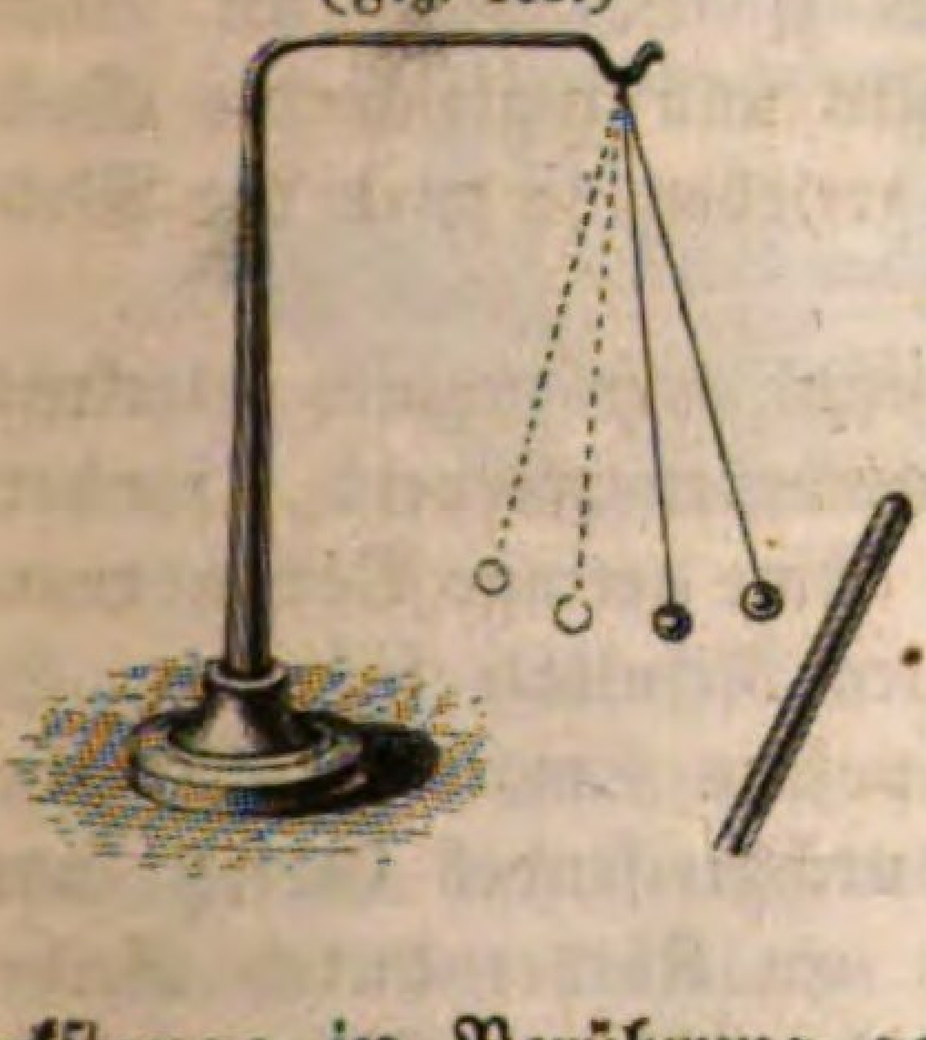
Bald nach des Engländers Gray's großartiger Entdeckung wurde 1733 die Kenntniß der electrischen Erscheinungen und ihrer Gesetze um einen ebenfalls sehr wesentlichen Schritt durch den Franzosen dü Fay weiter geführt. Dü Fay, welcher Gray's Versuche über die electrische Leitung und Mittheilung wiederholte und erweiterte, fand nehmlich, daß es zwei verschiedene Electricitäten giebt, welche er Glas- und Harz-Electricität nannte, denen man aber später nach dem Vorgange Franklins die Namen positive und negative Electricität beigelegt hat, und daß die beiden entgegengesetzten Electricitäten das nehmliche Gesetz wie die beiden Magnetismen befolgen, nehmlich: Positive und negative Electricität.

Die gleichnamigen Electricitäten stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an.

Zwar hatten schon früher verschiedene Physiker die Abstoßung gleichnamiger Electricitäten beobachtet. So hatte Guerike bemerkt, daß eine Flaumfeder von einer Schwefelkugel nicht blos angezogen, sondern demnächst auch wieder abgestoßen wurde. Das Vorhandensein zweier verschiedenen Electricitäten und das eben vorgetragene Gesetz ist jedoch zuerst durch dü Fay aufgefunden worden. Ueber die Geschichte dieser wichtigen Entdeckung ist indeß nichts Näheres bekannt.

Man kann die Richtigkeit des angeführten Gesetzes sehr leicht zeigen, wenn man zwei kreisrunde Papierscheibchen (etwa von der Größe eines Pfennigstückes) an seidenen Fäden neben einander aufhängt. Nähert man dann denselben eine Glasröhre, welche man an einem wollenen Lappen gerieben hat, so werden sie von dieser erst angezogen, nach der Berührung aber abgestoßen, Fig. 163, und zugleich stoßen sie sich selbst, da sie mit gleicher Electricität geladen sind, gegenseitig ab. Die nehmlichen Erscheinungen beobachtet man, wenn man den Papierscheibchen eine an einem wollenen Lappen geriebene Siegellackstange bis zur Berührung nähert. — Nähert man aber den Scheibchen, nachdem sie mit der Glasstange in Berührung gewesen sind und von derselben abgestoßen wurden, eine geriebene Siegellackstange, so werden sie von dieser lebhaft angezogen, und eben so werden die Scheibchen, wenn sie mit der Siegellackstange in Berührung gewesen sind, von der Glasstange angezogen. Bringt man das eine Scheibchen mit der Glasstange, das andere mit der Siegel-

(Fig. 163.)



lackstange in Berührung, so ziehen sie sich, da sie mit entgegengesetzten Electricitäten geladen sind, gegenseitig an.

Das eben Ausgeführte liefert uns auch ein sehr einfaches Mittel, die Electricität eines Körpers, z. B. einer geriebenen Schwefelstange, zu prüfen. Wir hängen zu diesem Zwecke zwei Scheibchen an seidenen Fäden auf und ertheilen dem einen durch Berührung mit einer Glasstange, welche wir an einem wollenen Lappen gerieben haben, positive, dem anderen durch Berührung mit einer eben so geriebenen Siegellackstange negative Electricität. Wir beobachten dann, welches der beiden Scheibchen von der Schwefelstange, die wir ebenfalls an einem wollenen Lappen gerieben haben, abgestoßen wird. Da dieß bei dem durch die Siegellackstange mit negativer Electricität geladenen Scheibchen der Fall ist, so besitzt folglich die Schwefelstange negative Electricität.

Auch hier ist ebenso wie bei der Prüfung des Magnetismus eines Eisenstabes mit Hilfe der Magnetnadel und aus ganz ähnlichen Gründen, wie wir sie oben hierfür angegeben haben, die Abstoßung sicherer entscheidend, als die Anziehung.

Wenn man kleinen Papierstückchen, Strohhälmchen oder anderen leichten Körpern, welche auf einem Tische ausgebreitet liegen, eine geriebene Siegellackstange nähert, so werden dieselben in der Regel nur angezogen, nach der Berührung aber nicht wieder abgestoßen. Dieselben bleiben vielmehr an der geriebenen Siegellackstange hängen. Diese Erscheinung, welche dem obigen Gesetze über die Abstoßung gleichnamiger Electricitäten zu widersprechen scheint, erklärt sich daraus, daß, wenn einem electrisirten schlechten Leiter ein anderer Körper, auch wenn dieser ein guter Leiter ist, selbst bis zur Berührung genähert wird, ein Uebergang der Electricität nicht leicht stattfindet, wenn beide Körper an der Berührungsstelle ebene oder abgerundete Flächen besitzen. Anders verhält sich dieses jedoch, wenn auch der electrisirte Körper ein guter Leiter ist, oder wenn demselben eine Spitze genähert wird, indem Spitzen, wie wir auch noch weiter unten bemerken werden, die Electricität begierig einsaugen.

Außer dem von dü Fay über die Anziehung und Abstoßung aufgefundenen Gesetze stimmt die Electricität auch noch in einem anderen, jedoch erst im Laufe späterer Untersuchungen festgestellten Umstande mit dem Magnetismus überein, daß nehmlich niemals eine Electricität allein erzielt werden kann, sondern immer beide zugleich auftreten. Wenn irgend zwei verschiedenartige Körper aneinander gerieben werden, so bekommt allemal der eine positive, der andere negative Electricität. Wird z. B. Glas an einem wollenen Lappen gerieben, so wird das Glas positiv und zugleich die Wolle negativ electrisch; wird aber Siegellack an Wolle gerieben, so wird die Wolle positiv und das Siegellack negativ electrisch.

Welcher von beiden geriebenen Körpern positiv oder negativ electrisch wird, hängt nicht blos von der Materie des geriebenen Körpers, sondern auch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Eine geringe Veränderung in dieser kann schon zu einem ganz entgegengesetzten Resultate führen. So wird z. B. polirtes Glas mit Wolle gerieben positiv, matt geschliffenes dagegen negativ electrisch. Ein allgemeines und durchgreifendes Gesetz, nach welchem sich im Voraus die Electricität, welche ein Körper durch Reiben mit einem anderen erlangt, bestimmen ließe, ist noch nicht ermittelt worden. Von den nachstehend aufgeführten Körpern:

Katzenfell, polirtes Glas, Wolle, Seide, Harz, matt-geschliffenes Glas,

bekommt jeder vorangehende, wenn er mit einem folgenden gerieben wird, positive, der folgende negative Electricität.

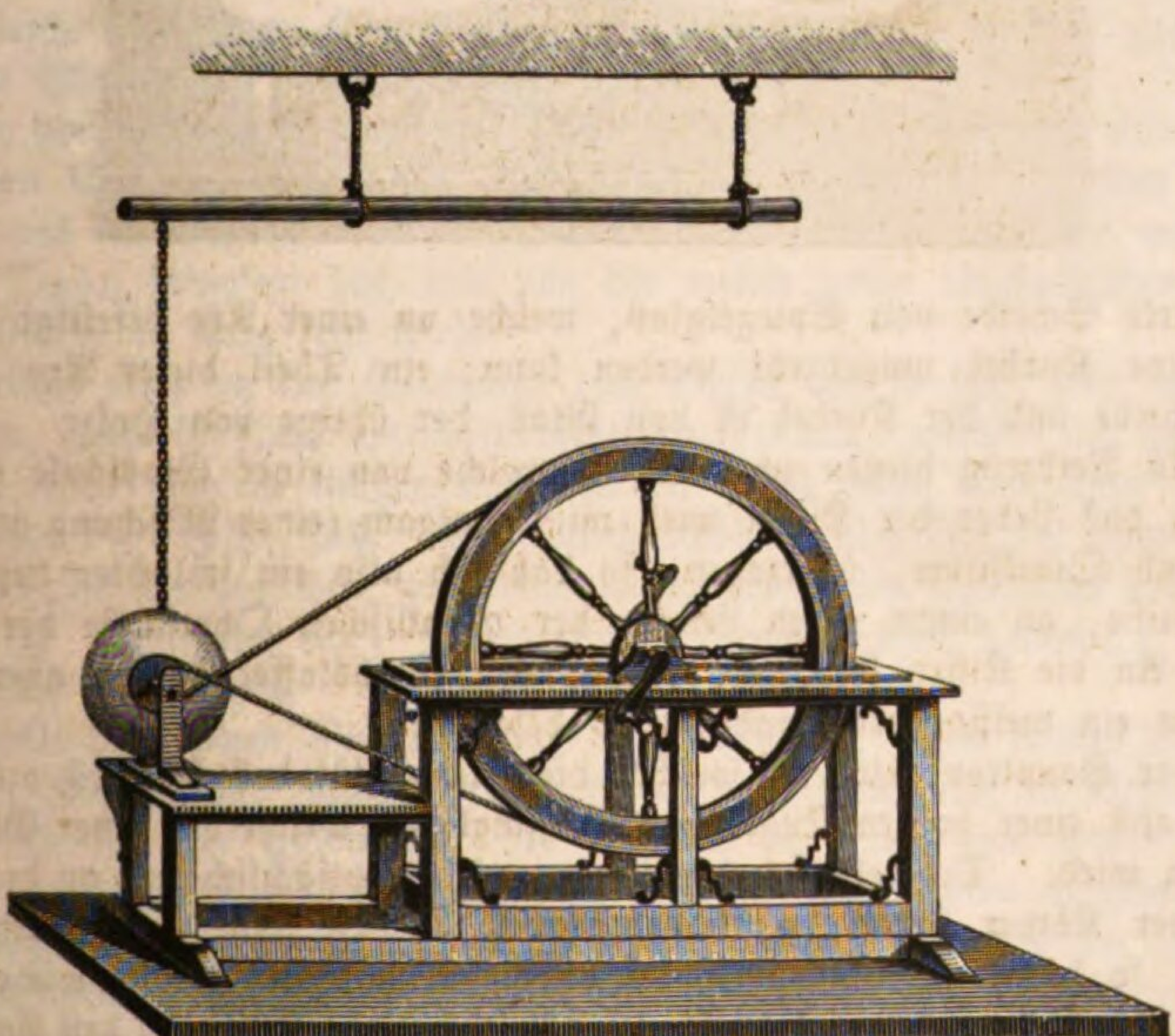
Ein wesentlicher Unterschied zwischen Electricität und Magnetismus zeigt sich darin, daß beide Magnetismen immer zugleich an den nehmlichen Körper gebunden sind, die beiden Electricitäten sich dagegen getrennt an verschiedenen Körpern erhalten lassen.

So wie die Entdeckung des Gesetzes der electrischen Polarität durch dü Fay nur durch die vorangegangene Entdeckung Gray's über die electrische Leitung ermöglicht wurde, so führte diese auch sehr bald zu einer wichtigen Bereicherung des electrischen Geräthes, nehmlich zu der Erfindung der Electrisirmaschine, welche den Physikern das geeignete Mittel darbot, die Electricität in einem weit stärkeren Maaße zu erregen, als bis dahin möglich gewesen war. Die Electrisirmaschine.

Um die Construction der Electrisirmaschine haben sich besonders deutsche Physiker, Bose in Wittenberg, Hausen und Winkler in Leipzig (1742—45) verdient gemacht und dieselbe zur Ausführung neuer Versuche benutzt.

Die Hauptheile einer Electrisirmaschine sind der Reiber, das Reibzeug und der Conductor. Bei den Maschinen ältester Einrichtung, deren Fig. 164 eine darstellt, bestand der Reiber aus einer gläsernen Kugel, das

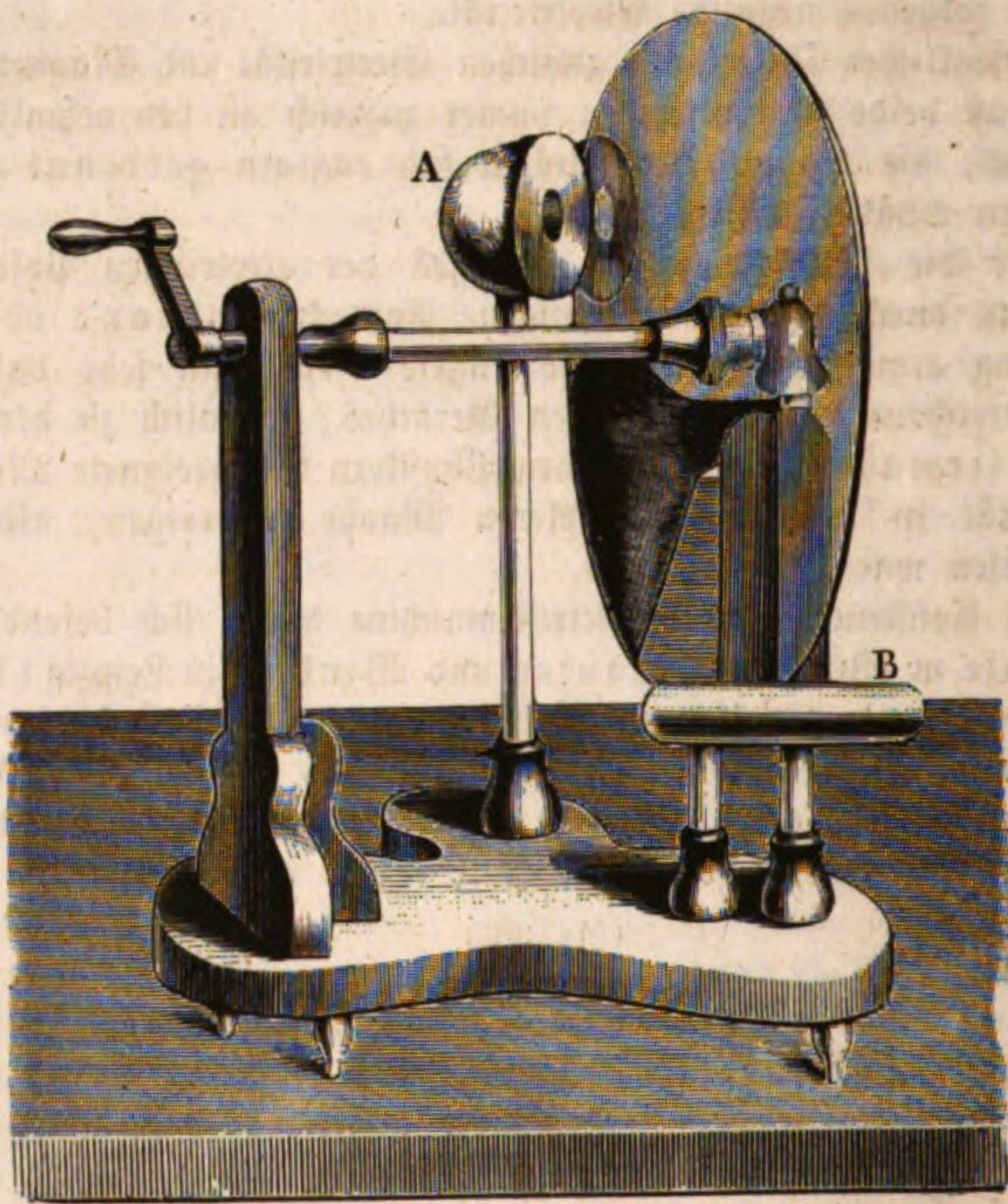
(Fig. 164.)



Reibzeug wurde durch die hohle Hand ersetzt, welche an die Kugel gehalten wurde, und der Conductor war gewöhnlich ein Flintenlauf, welcher an seidenen Schnüren an der Decke des Zimmers aufgehängt war. Um eine schnellere Umdrehung der Kugel zu bewirken, war die Axe derselben durch einen Schnurlauf mit einem größeren Rade verbunden, welches durch einen Gehilfen vermittelst einer Kurbel umgedreht wurde.

Fig. 165 zeigt eine Electrisirmaschine nach der neuesten und besten Einrichtung, wie sie von Winter in Wien geliefert werden. Der Reiber ist

(Fig. 165.)



eine starke Scheibe von Spiegelglas, welche an einer Axe befestigt ist, die durch eine Kurbel umgedreht werden kann; ein Theil dieser Axe zwischen der Scheibe und der Kurbel ist von Glas, der übrige von Holz.

Als Reibzeug dienen zwei Kissen, welche von einer Glassäule getragen werden; das Leder der Kissen wird mit Amalgam, einer Mischung aus Zink, Zinn und Quecksilber, überzogen, so daß sich also ein schlechter Leiter, die Glasscheibe, an einem guten Leiter, der metallischen Oberfläche der Kissen, reibt. An die Kissen sind vorn Flügel von Wachstaffet, hinten aber ist an dieselben ein messingener Conductor B befestigt.

Der Hauptconductor A, welcher die Electricität des Reibers aufnimmt, besteht aus einer hohlen Kugel von Messingblech, welche von einer Glassäule getragen wird. Da nehmlich die Electricität hauptsächlich nur an der Oberfläche der Körper haftet, ohne beträchtlich in das Innere derselben einzudringen, so leistet ein hohler Conductor die nehmlichen Dienste wie ein massiver. Zur Ueberführung der Electricität aus dem Reiber in den Conductor dienen zwei hölzerne Ringe, welche an der Innenseite mit feinen Nadelspitzen besetzt sind, die durch einen Streifen Stanniol (Zinnfolie) unter sich und mit dem messingenen Conductor leitend verbunden sind. Spitzen haben nehmlich die Eigenschaft, die Electricität begierig einzusaugen; andererseits strömen dieselben auch leicht Electricität aus, weshalb an dem Conductor selbst alle Spitzen (auch Staub und andere Unreinigkeit) auf's sorgfältigste vermieden werden müssen.

Bei der Umdrehung des Reibers, der Glasscheibe, wird dieser positiv, das Reibzeug aber negativ electrisch, nach dem schon oben ausgesprochenen Gesetze, daß von zwei an einander geriebenen Körpern immer beide electrisch werden, und zwar der eine positive, der andere negative Electricität erhält. Will man nun von dem Reiber kräftige positive Electricität erhalten, so muß die negative Electricität des Reibzeuges abgeleitet werden, was dadurch geschieht, daß man den Conductor derselben mit der Erde in leitende Verbindung bringt. Will man dagegen die negative Electricität des Reibzeuges benutzen, so läßt man den Conductor desselben isolirt und setzt dagegen den Conductor des Reibers mit der Erde in leitende Verbindung.

Von den mannigfaltigen mit der Electrisirmaschine anzustellenden Versuchen heben wir folgende hervor: Versuche mit der Electrisirmaschine.

Nähert man der umgedrehten Scheibe das Gesicht oder die Rückseite der Hand, so hat man ein Gefühl wie von Spinnweben. Bei hinreichender Annäherung des Fingers an verschiedene Stellen der Scheibe bekommt man einzelne Funken.

Weit längere Funken, als dem Reiber lassen sich dem Conductor entziehen, indem jener die Electricität nur von der einzelnen Stelle, dieser dagegen von der ganzen Oberfläche abgiebt. Bei guten Maschinen erreichen die Funken die Länge von mehreren Zollen*). Dieselben durchlaufen nicht eine gerade Linie, sondern ein Zickzack in ähnlicher Art wie der Blitz.

Durch die electrischen Funken lassen sich Schwefeläther, Spiritus und andere leicht brennbare Körper entzünden, ein Versuch, welcher zuerst von deutschen Physikern 1744 ausgeführt worden ist.

In der Nähe einer wirksamen Electrisirmaschine bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, welcher von einer durch die Electricität bewirkten Modification des Sauerstoffs der umgebenden Luft herrührt, welcher man den Namen Ozon beigelegt hat, und von der weiter unten im chemischen Theile ausführlicher die Rede sein wird.

Bringt man an den Conductor eine Spitze an, so sieht man aus derselben im Dunkeln einen Strahlenbüschel ausströmen, welcher sich noch verlängert, wenn man in einigem Abstande die flache Hand oder einen anderen Leiter über die Spitze hält. Der Strahlenbüschel ist größer bei einer Spitze, wenn dieselbe am positiven, als wenn sie am negativen Conductor angebracht ist. — In der Nähe einer solchen Spitze bemerkt man besonders deutlich den Geruch nach Ozon.

Stellt man einen Menschen auf den Isolirtisch, einen kleinen Tisch mit gläsernen Füßen, und bringt denselben mit dem Conductor in Verbindung, so sträuben sich bei Umdrehung des Reibers die Haare am Kopfe empor; derselbe erscheint im Dunklen wie von einem Heiligenscheine umgeben; aus jedem Theile des Leibes lassen sich Funken ziehen; die aus den Fingern hervorspringenden Funken vermögen Spiritus (sicherer, wenn derselbe vorher etwas erwärmt worden ist,) zu entzünden u. dgl. m.

Sehr schön zeigt sich im Dunkeln das electrische Licht in einem luftverdünnten Raume. Die Electricität wird nehmlich an der Oberfläche der Körper durch den Widerstand, welchen die schlecht leitende Luft der Verbreitung derselben entgegenstellt, zurückgehalten. Sie durchdringt dagegen einen

---

*) Die Winter'schen Electrisirmaschinen geben bei einem Durchmesser der Scheibe von 3 Fuß Funken von 20 bis 22 Zoll Länge.

luftleeren oder luftverdünnten Raum wie einen guten Leiter. Zur bequemen Beobachtung des electrischen Lichtes im luftverdünnten Raume dient das so genannte electrische Ei (Fig. 166), welches aus einem gläsernen Ballon besteht, an welchem zwei metallne Fassungen angebracht sind, die eine derselben läßt sich auf eine Luftpumpe aufschrauben, um im Innern des Ballons einen möglichst luftleeren Raum herstellen zu können. Bringt man dann die eine der metallnen Fassungen mit dem positiven, die andere mit dem negativen Conductor einer Electrisirmaschine in Verbindung, so sieht man im Dunkeln zwischen zwei im Inneren des Ballons befindlichen metallnen Kugeln, welche durch Dräthe mit den metallnen Fassungen verbunden sind, ein lebhaftes Licht überströmen.

(Fig. 166.)



(Fig. 167.)

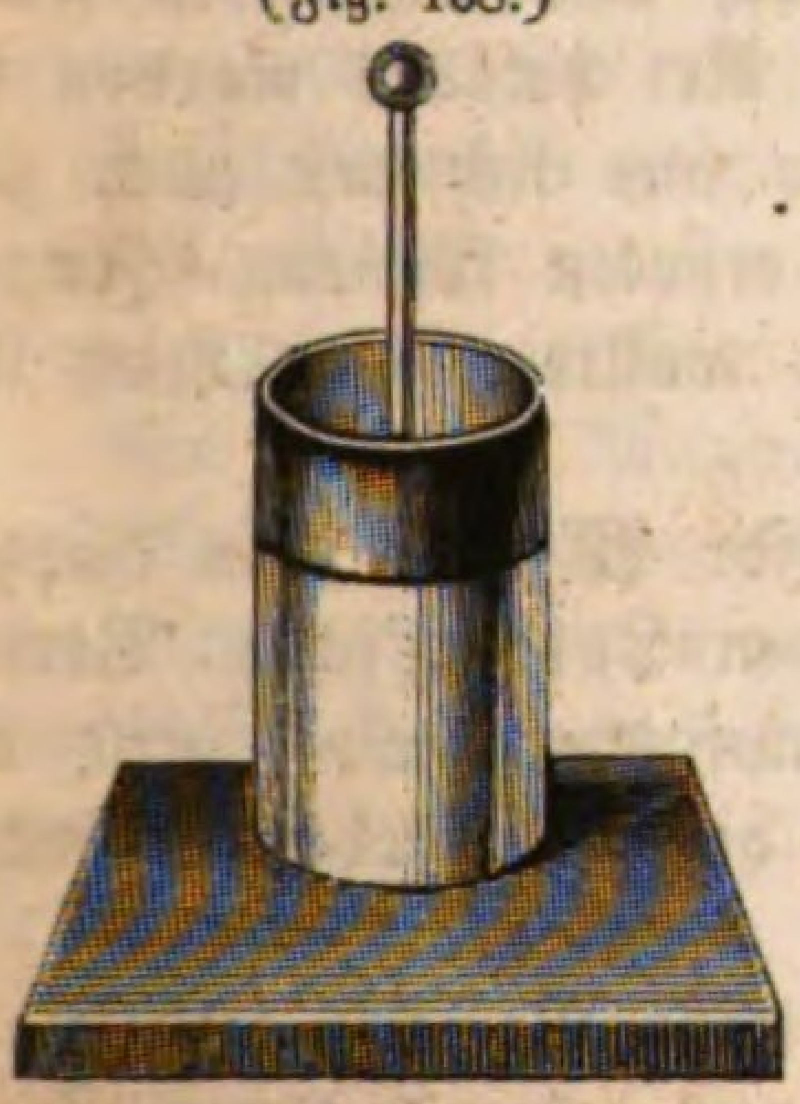


Endlich führen wir noch das electrische Glockenspiel, welches Fig. 167 nach einer einfachen Einrichtung darstellt, an. Dasselbe besteht aus zwei Glöckchen c und d, welche an einem messingenen Stabe ab, der von einer isolirenden Glassäule g getragen wird, aufgehängt sind, und zwar das erstere Glöckchen c vermittelst eines seidenen Fadens, das andere d vermittelst eines metallenen Kettchens. Zwischen beiden Glöckchen hängt an einem seidenen Faden ein metallenes Kügelchen k. Wenn nun der Metallstab ab mit dem Conductor einer thätigen Electrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt wird, so wird das Kügelchen k von dem Glöckchen d angezogen, und nachdem es in der Berührung sich mit gleichnamiger Electricität geladen, abgestoßen und von dem Glöckchen c angezogen. Nachdem das Kügelchen dann an dieses in der Berührung seine Electricität abgegeben, wird es aufs Neue von dem Glöckchen d angezogen und bewirkt, indem es so zwischen beiden Glöckchen hin und her schwingt, ein andauerndes Läuten derselben.

Wenn die Versuche mit der Electrisirmaschine noch heutigen Tages zu dem Ueberraschendsten und Großartigsten gehören, was die Physik überhaupt hervorzubringen vermag, so kann es uns nicht befremden, wenn wir in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, wo diese Erscheinungen noch den vollen Reiz der Neuheit ausübten, die Physiker aufs eifrigste mit denselben beschäftigt sehen. Diese eifrige Thätigkeit führte aber sehr bald wieder und fast gleichzeitig an zwei entlegenen Orten, zur Auffindung eines neuen Mittels, noch kräftigere Wirkungen hervorzubringen, als mit der Electrisirmaschine allein möglich war. Wir meinen die electrische Flasche. Ehe wir jedoch unseren Lesern die Geschichte dieser Erfindung vortragen, schicken wir zu besserem Verständniß noch Folgendes über die Einrichtung und den Gebrauch der electrischen Flasche voraus:

Die wesentlichen Theile einer electrischen Flasche sind das Glas und die innere und äußere Belegung. Während das Glas ein schlechter Leiter der Electricität ist, müssen die Belegungen gute Leiter sein. Gewöhnlich bestehen dieselben aus einem an der Innen- und Außenseite des Glases angebrachten Ueberzuge von Stanniol (Zinnfolie). Da beide Belegungen gegen einander isolirt sein müssen, so bleibt der oberste Rand des Glases, Fig. 168, in der Breite von einigen Zollen, sowohl innen, als außen, unbelegt. Zur inneren Belegung führt ein starker Drath oder ein Stab von Messing, welcher in eine Kugel endet. Die electrische Flasche.

(Fig. 168.)



Man ladet nun die Flasche, indem man die innere Belegung mit dem Conductor der Electrisirmaschine, die äußere aber mit der Erde in leitende Verbindung bringt Die Flasche wird entladen, wenn man die innere und äußere Belegung mit einander in leitende Verbindung setzt. Will man den Entladungsschlag selbst empfinden, so nimmt man die Flasche in die eine Hand, wodurch die äußere Belegung mit der Erde in leitende Verbindung gebracht wird, hält den Knopf der inneren Belegung an den Conductor und dreht die Scheibe ein Paarmal um, wodurch die Flasche geladen wird. Faßt man nun den Knopf der inneren Belegung mit der anderen Hand an, so bildet der eigene Körper eine leitende Verbindung zwischen der äußeren und inneren Belegung, und man empfindet einen mehr oder weniger heftigen Schlag.

Derjenige, welcher den electrischen Schlag zuerst empfunden und die Methode, denselben hervorzubringen, näher beschrieben hat, ist der Domherr von Kleist zu Camin in Pommern. Derselbe berichtet hierüber in einem unterm 4. November 1745 an den Dr. Lieberkühn geschriebenen Briefe, daß, wenn ein Nagel oder Drath, (um ihn zu isoliren,) in ein kleines Medizingläschen, (welches man in der Hand hält,) gesteckt und electrisirt wird, und man während des Electrisirens den Finger (der anderen Hand) an den Nagel hält, der herausfahrende Schlag so stark ist, daß Arme und Achseln davon erschüttert werden. Wenn das Gläschen nur kurz, etwa zwei Zoll lang ist, so schlage der Funke von selbst nach dem Finger (der Hand, mit welcher das Glas gehalten wird). Einigemal sei es auch geschehen, daß dünnhalsige Gläser durch den Schlag zersprengt worden. Weiter erwähnt

derselbe, daß der Versuch noch besser von Statten gehe, wenn man etwas Quecksilber oder Weingeist in das Gläschen thue.

Man wird leicht bemerken, daß bei diesen Versuchen die Flüssigkeit und der Drath die innere Belegung, und die das Glas umfassende Hand die äußere Belegung bildeten. Kleist führt ausdrücklich an, daß die starke Wirkung nicht erfolgt sei, wenn er das Glas auf Holz, Metall, Glas, Siegellack u. dgl. gekittet. Er irrt freilich darin, wenn er meint, daß der menschliche Körper als solcher zum Gelingen des Versuches nothwendig sei. Vielmehr ist, wie wir oben angegeben haben, hierzu überhaupt nur erforderlich, daß die äußere Belegung mit der Erde leitend verbunden ist.

Wahrscheinlich um dieselbe Zeit und ohne hiervon benachrichtigt zu sein, hat Kunnäus, ein angesehener Privatmann zu Leyden, welcher sich mit der Wiederholung einiger Versuche, die er bei den Professoren Muschenbröck und Allemand gesehen, beschäftigte, die nehmliche Entdeckung gemacht. Er erhielt nehmlich den electrischen Schlag, als er Wasser, welches in einem Glase, das er in der Hand hielt, befindlich war, electrisirt hatte und den Drath, welcher die Electricität hinzuleitete, mit der anderen Hand losmachen wollte.

Professor Muschenbröck, welcher den Versuch wiederholte, schreibt in einem Briefe an Réaumür in Paris, daß er durch den Schlag in seinen Armen, in den Schultern und der Brust in der Art betäubt worden sei, daß er auf einige Augenblicke den Athem verloren und sich erst nach zwei Tagen von dem Schlage und Schreck habe wieder erholen können. Ja, er setzt hinzu, daß er keinen zweiten Schlag ausstehen wollte, wenn man ihm auch das Königreich Frankreich dafür anböte.

Noch lächerlicher klingt der Bericht des Professor Winkler in Leipzig. Dieser erzählt, daß er in seinem Körper, als er den Leiden'schen Versuch zum ersten Male angestellt, starke Convulsionen empfunden habe, und daß sein Geblüt so stark erhitzt worden sei, daß er ein hitziges Fieber befürchtet und kühlende Arzneien habe brauchen müssen.

(Fig. 169.)



So übertrieben auch diese Berichte lauten, so würde es doch sehr unbequem, ja es könnte sogar mit Gefahr verbunden sein, wollte man die Entladung größerer Flaschen (oder Batterien) immer durch den menschlichen Körper bewerkstelligen. Um dieses zu vermeiden, dient der electrische Auslader, (Fig. 169), welcher aus zwei starken Dräthen besteht, welche an einem Ende durch ein Charnier verbunden sind und am andern Ende messingene Kugeln tragen. Vermittelst zweier an den Dräthen befestigter Handgriffe von Glas können die Kugeln einander beliebig genähert oder von einander entfernt werden.

Electrische Vertheilung oder Influenz.

Bevor wir jedoch von den mit der electrischen Flasche auszuführenden Versuchen handeln, fragen wir noch vorher nach den Gründen, auf welchen die eigenthümliche Wirkungsweise der electrischen Flasche beruht. Dieselben stützen sich wesentlich auf das Princip der Vertheilung oder Influenz, welches wir schon in der Lehre vom Magnetismus kennen gelernt haben, und das in Betreff der electrischen Erscheinungen eine eben so wichtige Rolle spielt, als dieß bei den Erscheinungen des Magnetismus der Fall ist. Die Kenntniß dieses Princips datirt jedoch einige Jahre später, als die Erfindung der

Flasche selbst. Dieselbe ist vorzüglich durch die in den Jahren 1753 bis 59 (?) von dem Engländer **Canton**, dem Schweden **Wilke** und dem Deutschen **Aepinus** über den electrischen Wirkungskreis oder die sogenannte electrische Atmosphäre angestellten Untersuchungen gewonnen worden. Zwar hatten die Physiker schon früher vielfach hierher gehörige Erscheinungen beobachtet; schon **Gray** hatte bemerkt, daß, wenn er an die Fußsohlen des in härenen Schnüren hängenden Knaben die geriebene Glasröhre hielt, ein unter dem Kopfe desselben befindliches Metallblättchen zur Höhe von mehreren (8 bis 10) Zollen empor gezogen wurde. Aehnliches war der Fall, wenn er dem breiteren Ende einer hölzernen, 27 Fuß langen und in härenen Schnüren aufgehängten Stange die geriebene Glasröhre näherte. Ein am anderen Ende der Stange, an einem etwa einen Fuß langen Bindfaden aufgehängter Kork zog ein darunter liegendes Metallblättchen einen Zoll und höher empor.

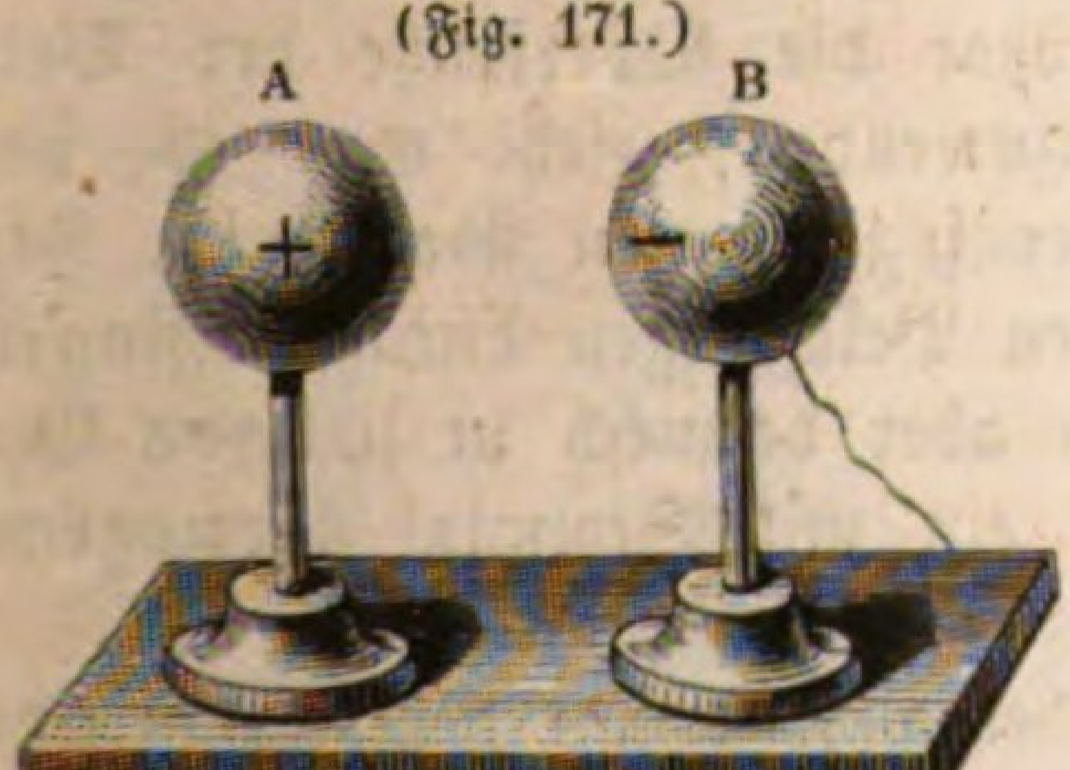
Diese und ähnliche Erscheinungen wurden jedoch von den Physikern bis zu der Mitte des vorigen Jahrhunderts und selbst noch von **Franklin** dahin gedeutet, daß die electrischen Körper von einem **Dunstkreise** von electrischer Materie, einer electrischen Atmosphäre, umgeben seien, und daß ein in diese Atmosphäre gebrachter Körper, in Folge hiervon, selbst electrisirt werde. Dieser Irrthum ist nun vorzüglich durch **Wilke** und **Aepinus** widerlegt worden, indem ins Besondere zuerst **Wilke** und weiterhin auch **Aepinus** mit Entschiedenheit zeigten, daß Körper, welche in die Nähe eines electrisirten Körpers gebracht werden, an dem genäherten Ende nicht die gleiche, sondern die entgegengesetzte Electricität von der des electrischen Körpers erhalten.

So wie ein Magnetpol nach dem, was wir oben S. 186 vorgetragen haben, auf benachbartes Eisen vertheilend einwirkt, in dem genäherten Ende den ungleichnamigen, in dem entgegengesetzten Ende den gleichnamigen Magnetismus hervorruft, in ganz gleicher Weise wirkt auch ein electrischer Körper auf alle in seiner Nähe befindlichen guten Leiter vertheilend ein, ruft in dem genäherten Ende die entgegengesetzte, in dem abgekehrten Ende die gleiche Electricität hervor.

(Fig. 170.)



(Fig. 171.)



Bringen wir in die Nähe eines, z. B. positiv electrisirten Körpers A, Fig. 170, einen Leiter B, so häuft sich an der genäherten Seite negative, an der abgekehrten Seite positive Electricität an, wenn der Körper B isolirt ist. Steht dagegen der Körper B, Fig. 171, mit der Erde in leitender Verbindung, so entfliehet die abgestoßene positive Electricität in den Erdboden. Werden die beiden Körper A und B einander so sehr genähert, daß die sich anziehenden Electricitäten den Leitungswiderstand der diese Körper trennen den Luftschicht zu überwinden vermögen, so vereinigen sie sich in einen Funken, indem von A nach B hin positive, von B nach A hin negative Electricität übergeht.

Wir haben daher den **electrischen Funken** als das **Product** der Verei=

nigung der entgegengesetzten und sich in demselben ausgleichenden, gegenseitig neutralisirenden Electricitäten anzusehen.

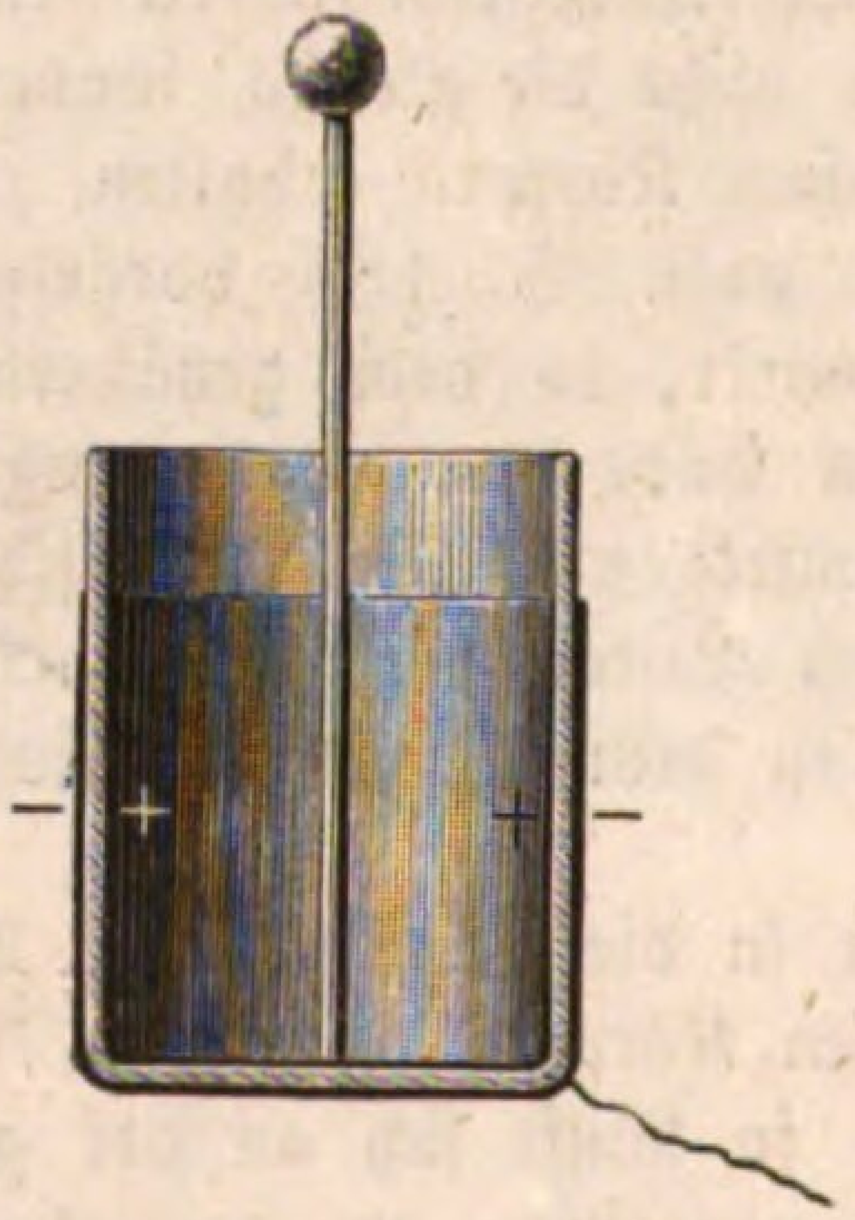
Weiter folgt aus dem eben Gesagten, was schon Aepinus mit Klarheit ausgesprochen hat, daß es keine andere electrische Anziehung, als zwischen den entgegengesetzten Electricitäten giebt, indem jeder Körper, welcher in den Wirkungskreis eines electrisirten Körpers gebracht wird, an dem genäherten Ende sich mit der entgegengesetzten Electricität ladet, ganz eben so, wie der Magnet das Eisen nur in sofern anzieht, als dasselbe in seiner Nähe selbst in einen Magneten verwandelt wird, und nun die einander zugewendeten ungleichnamigen Pole beider Magnete sich gegenseitig anziehen.

Erklärung der Erscheinungen der electrischen Flasche.

Aus dem Princip der electrischen Influenz geht aber die Erklärung der Erscheinungen der electrischen Flasche, welche längere Zeit für die Physiker ein ungelöstes Räthsel bildeten, in der folgenden einfachen Weise hervor:

Wenn man die innere Belegung mit dem Conductor der Electrisirmaschine verbindet, so wirkt die aus diesem in die innere Belegung übergehende positive Electricität vertheilend auf die äußere Belegung und zwar um so stärker, je dünner das beide Belegungen trennende Glas ist, in einem je kleineren Abstande sich dieselben also von einander befinden, in der Art ein, daß in der mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden äußeren Belegung negative Electricität angezogen wird und sich ansammelt, positive Electricität dagegen abgestoßen wird und in den Erdboden entflieht (Fig. 172). Die angezogene negative Electricität der äußeren Belegung wirkt nun ihrerseits wieder anziehend auf die positive Electricität der inneren Belegung ein und bewirkt, daß in diese weit mehr positive Electricität aus dem Conductor übergeht, als ohne die wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Electricitäten beider Belegungen der Fall sein würde.

(Fig. 172.)

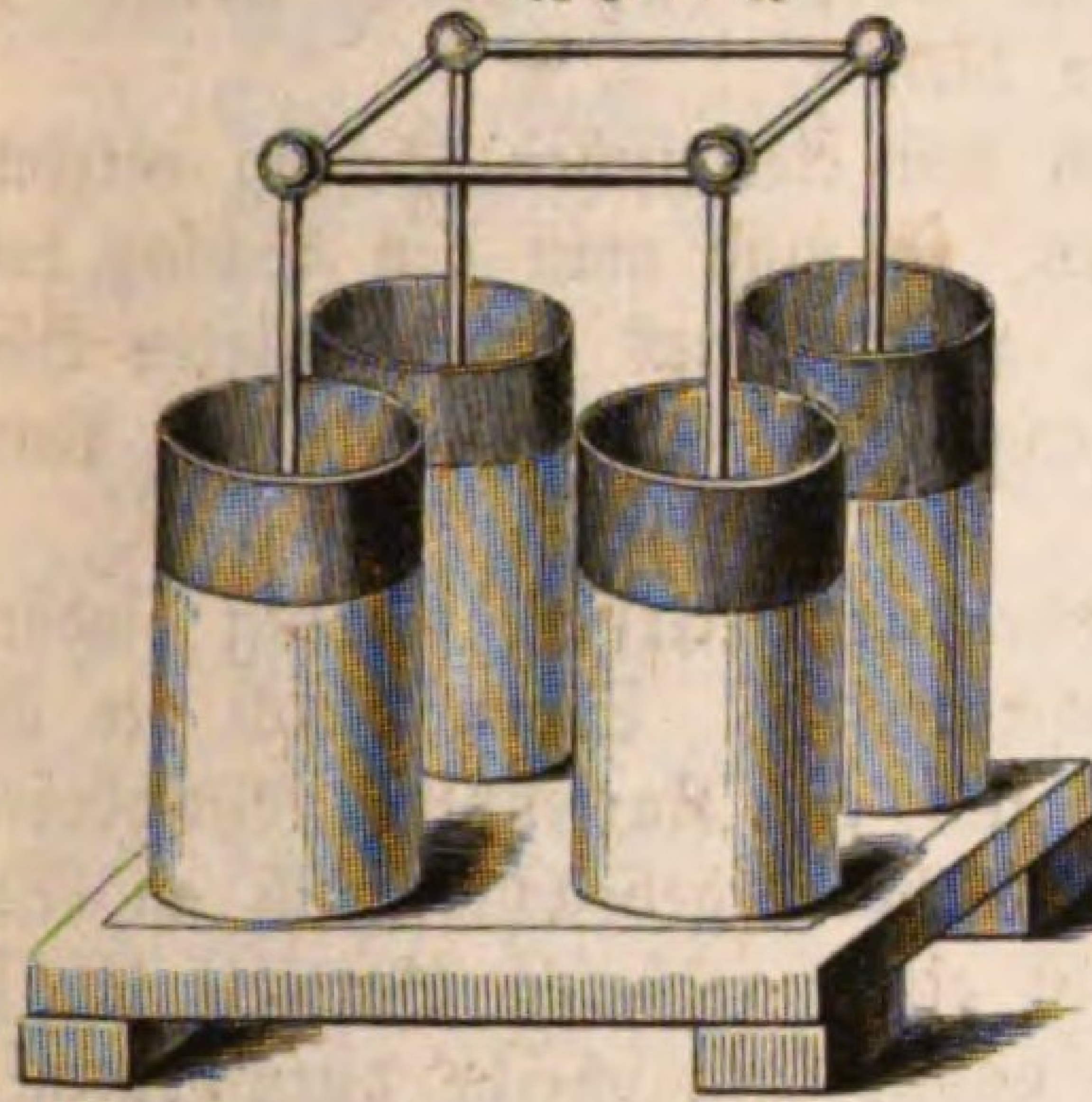


Das dieselben trennende Glas verhindert die Vereinigung der sich anziehenden Electricitäten; diese Vereinigung erfolgt dagegen mit Heftigkeit, sobald die beiden Belegungen durch einen guten Leiter, z. B. einen Drath oder den menschlichen Körper, mit einander verbunden werden.

Die Stärke der Ladung, welche eine Flasche anzunehmen vermag, hängt, wie schon oben bemerkt, von der Dünne des Glases ab. Ist dieses jedoch allzu dünn, so kann es auch geschehen, daß bei starker Ladung, wie schon Kleist gefunden hat, die Entladung durch das Glas hindurch erfolgt, wodurch die Flasche unbrauchbar wird. Weiter vermag eine Flasche natürlich eine um so größere Ladung aufzunehmen, je größer die Oberfläche der Belegungen ist. Statt sehr große Flaschen anzuwenden, zieht man es vor, mehrere Flaschen von mäßiger Größe zu einer sogenannten Batterie, Fig. 173, zusammenzusetzen, indem man die inneren Belegungen durch messingene Dräthe oder Stäbe, die äußeren Belegungen aber dadurch in leitende Verbindung bringt, daß man die Flaschen auf ein mit Stanniol überzogenes Brett stellt.

Von den eben so mannigfaltigen, als überraschend mit der Flasche oder Batterie anzustellenden Versuchen heben wir die folgenden hervor:

(Fig. 173.)



Versuche mit der electrischen Flasche oder Batterie.

Wenn mehrere Personen sich mit den Händen anfassen, und die äußerste Person an dem einen Ende die äußere Belegung berührt, die äußerste Person am anderen Ende dem Knopfe der inneren Belegung der geladenen Flasche die Hand hinreichend nähert, so empfinden alle zugleich den Erschütterungsschlag.

So ließ schon bald nach der Erfindung der electrischen Flasche der Abt Nollet in Gegenwart des Königs von Frankreich den electrischen Schlag durch eine Reihe von 180 Gardisten hindurchgehen.

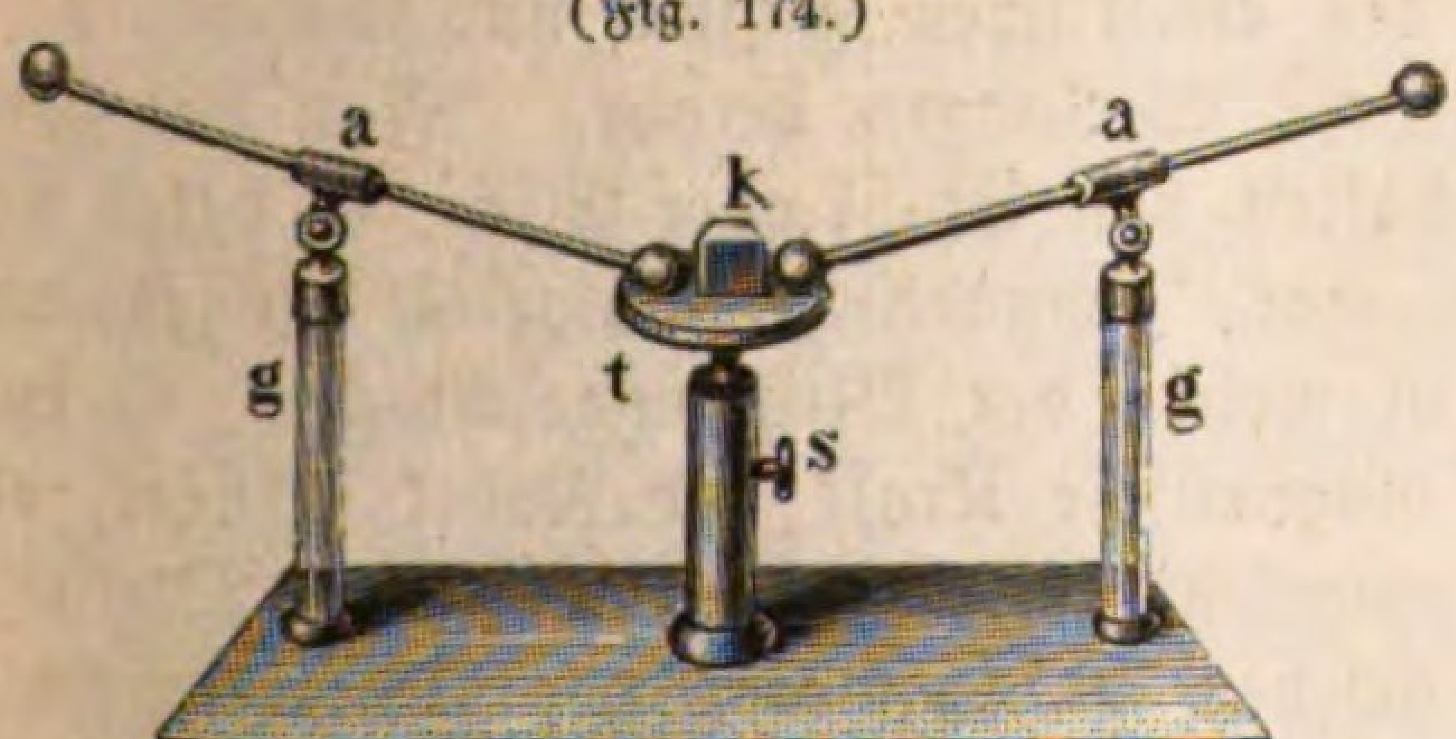
Kleinere Thiere, selbst Hunde und Katzen, können durch den electrischen Schlag getödtet werden. Nollet ist ebenfalls der erste, welcher diesen Versuch mit einem Sperling ausführte. Der erste Schlag hatte das Thierchen nur betäubt und nach einigen Minuten hatte es sich hiervon wieder erholt; aber ein zweiter Schlag raubte ihm das Leben.

Der electrische Schlag durchläuft auch die längste Leitung anscheinend momentan. Schon Watson hat 1748 in London gefunden, daß der Entladungsschlag einer Flasche eine Drathleitung von ohngefähr einer halben geographischen Meile Länge mit unmeßbarer Geschwindigkeit durchläuft. In neuerer Zeit hat Wheatstone, der Erfinder des Zeigertelegraphen, 1835 durch ein äußerst sinnreiches Verfahren, dessen Auseinandersetzung uns jedoch zu weit führen würde, und eben so haben spätere Versuche an den Dräthen electrischer Telegraphenlinien gezeigt, daß die Electricität mehrere Tausend Meilen in weniger, als einer Secunde Zeit durchläuft.

Wenn man die äußere und innere Belegung einer Flasche oder Batterie durch mehrere gleich gute und gleich lange Leiter verbindet, so vertheilt sich der electrische Schlag zwischen denselben; besitzen dieselben dagegen ein ungleiches Leitungsvermögen und ungleiche Länge, so folgt die Electricität hauptsächlich dem besten und kürzesten Leiter.

Feine Metalle können durch den electrischen Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie geschmolzen werden. Wenn man einen schmalen Streifen Goldblatt oder einen sehr feinen Drath zwischen zwei Glasscheiben legt und dann einen starken Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie hindurchleitet, so wird das Metall in die Glasscheiben eingeschmolzen, welche gewöhnlich durch die Heftigkeit des Schlages zerbrochen werden.

(Fig. 174.)



Man bedient sich hierbei bequem des allgemeinen Ausladers von Henley. Dieser besteht aus zwei auf einem Brettchen befestigten Glassäulen gg, Fig. 174, welche zwei um ein Charnier bewegliche messingene Arme aa tragen. Zwischen denselben ist ein kleines Tischchen t angebracht, welches sich vermittelst einer Schraube s

höher und niedriger stellen läßt und dem Körper k, durch welchen der Schlag geführt werden soll, zur Unterlage dient.

Leicht brennbare Körper können durch den electrischen Schlag entzündet werden. Will man Schießpulver entzünden, so muß man den Schlag durch Einschaltung eines weniger guten Leiters, z. B. eines angefeuchteten Bindfadens, in die Leitung verzögern; entgegengesetzten Falles wird das Pulver in der Regel nur umhergeschleudert.

Schlecht leitende Körper, durch welche der electrische Schlag hindurchgeführt wird, werden durchbohrt oder zerschmettert. Schon durch den Entladungsschlag einer kleinen Flasche läßt sich ein Kartenblatt durchbohren. Bemerkenswerth ist der Umstand, daß das hervorgebrachte Loch an beiden Seiten erhabene Ränder zeigt. Vermittelst einer größeren Batterie läßt sich auch ein dünnes Brettchen oder eine sehr dünne Glasscheibe durchbohren.

Führt man den Entladungsschlag quer neben einer Stahlnadel in einem kleinen Abstande vorbei, so wird die Nadel magnetisch. Auch ein größerer Stahlstab läßt sich durch den electrischen Schlag magnetisiren, wenn man denselben (wegen der Isolirung) in eine Glasröhre legt, um welche ein Drath in zahlreichen Windungen herumgeführt ist, und dann einen kräftigen Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie durch den Drath hindurchgehen läßt.

Die electrische Natur des Gewitters.

Diese und ähnliche Versuche, welche fast alle Wirkungen, die durch den Blitz hervorgebracht werden, wenn auch in kleinerem Maaßstabe nachahmen, konnten schon bald nach der Erfindung der electrischen Flasche den Physikern keinen Zweifel lassen, daß das Gewitter eine electrische Erscheinung sei. Mit der größten Klarheit und Vollständigkeit aber hat Franklin die Beweise für die Richtigkeit dieser Ansicht in seinen in den Jahren 1747 bis 1754 an Peter Collinson, Mitglied der Königlichen Gesellschaft in London, gerichteten Briefen vorgetragen. Die hauptsächlichsten dieser Gründe sind im Wesentlichen folgende:

1. Längere electrische Funken durchlaufen, so wie der Blitz, eine Zickzacklinie.
2. Spitzen ziehen die Electricität schon in größerer Ferne an sich; eben so werden auch am häufigsten spitze Gegenstände, die Spitzen von Dächern, Thürmen, Masten, Bäumen u. dgl. vom Blitze getroffen.
3. Der Blitz folgt vorzugsweise den guten Leitern der Electricität auf seinem Wege zur Erde.
4. Schlecht leitende Substanzen, wie Holz, Mauern u. dgl., werden nicht selten vom Blitze durchbohrt oder zerschmettert.
5. Der Blitz zündet brennbare Gegenstände, und
6. er schmilzt zuweilen Metalle. Beides thut auch der electrische Funke.
7. Der Blitz tödtet Menschen und Thiere. Auch dieses läßt sich an kleineren Thieren durch den electrischen Funken nachahmen.
8. Der Blitz bringt magnetische Wirkungen hervor. Man hat häufig beobachtet, daß Geräthschaften von Stahl oder Eisen, in deren Nähe der Blitz niedergefahren war, magnetische Polarität angenommen hatten. Auf Schiffen, in welche der Blitz eingeschlagen, ist durch denselben zuweilen die magnetische Kraft der Nadel zerstört, oder die Pole derselben sind umgekehrt worden. — Aehnliche Wirkungen bringt, wie wir oben gesehen haben, auch der Entladungsschlag der electrischen Flasche oder Batterie hervor

Zu diesen der Hauptsache nach schon von Franklin aufgeführten Gründen fügen wir noch die beiden folgenden:

9. Den Geruch nach Ozon, welchen man nach starken Blitzschlägen wahrnimmt; und

10. herannahende Gewitter veranlassen an electrischen Telegraphen unregelmäßige Zeichen.

So überzeugend auch Franklins Briefe die Uebereinstimmung des Blitzes mit dem electrischen Funken darthaten, so kam es doch noch, um den Widerspruch eigensinniger Zweifler gänzlich zum Schweigen zu bringen, darauf an, die Electricität einer Gewitterwolke unmittelbar zur Erde nieder zu leiten und zu untersuchen.

Franklin verfertigte zu diesem Zwecke einen Drachen, Windvogel. Oben war an demselben ein zugespitzter Drath angebracht, und an dem Ende der von dem Drachen herabgehenden hänfenen Schnur war ein Schlüssel befestigt; derjenige Theil der Schnur aber, welchen Franklin in der Hand hielt, war von Seide, damit die von der Spitze aufgenommene Electricität nur bis zum Schlüssel fortgeleitet werde.

Um nicht dem Hohngelächter unwissender Spötter, wenn vielleicht der Versuch nicht sofort gelingen sollte, ausgesetzt zu sein, vertraute Franklin sein Vorhaben nur seinem Sohne an. In Begleitung desselben begab sich Franklin im Juni des Jahres 1752 beim Herannahen eines Gewitters auf ein Feld in der Nähe von Philadelphia und ließ seinen Drachen steigen. Anfangs zeigte sich keine Wirkung, und da auch eine sehr viel versprechende Wolke ohne die geringste Wirkung vorüber gezogen war, fing Franklin schon an, an dem Erfolge seiner Versuche zu verzweifeln, als er bemerkte, daß einige lose Fäden an der hänfenen Schnur sich emporsträubten, gerade so, als wenn sie an dem Conductor einer Electrisirmaschine gehangen hätten. Franklin näherte jetzt dem Schlüssel den Finger und erhielt aus demselben zu seiner, gewiß nicht geringen, Freude einen electrischen Funken, welchem bald noch andere folgten, besonders nachdem die Schnur durch den Regen naß geworden war.

Franklin ladete später auch mit der aus einer Gewitterwolke vermittelst des emporgestiegenen Drachens nach dem Schlüssel herabgeleiteten Electricität eine electrische Flasche, zündete Spiritus an und brachte überhaupt die bekannten electrischen Erscheinungen hervor.

Weiterhin richtete er an seinem Hause eine isolirte eiserne Stange auf, um mit Bequemlichkeit in seiner Wohnung Beobachtungen über die Luftelectricität anstellen zu können. Er brachte an dem Ende der Stange nach Art des electrischen Glockenspieles zwei Glöckchen an, welche anschlugen, wenn die Stange mit Electricität geladen war, und ihn so durch ihr Läuten aufmerksam machten.

An dergleichen isolirten eisernen Stangen haben, angeregt durch Franklins Schriften, ein Beobachter in Paris und ein anderer in dem Städtchen Marly schon im Monat Mai des Jahres 1752 beim Vorüberziehen einer Gewitterwolke electrische Erscheinungen wahrgenommen. Diese Beobachtungen sind also einen Monat früher, als Franklin seinen Drachen steigen ließ, angestellt worden. Es ist jedoch einleuchtend, daß Franklin so früh von denselben keine Nachricht haben konnte.

Von den Physikern, welche nach dieser Zeit Beobachtungen über die Luftelectricität anstellten, wurde Richmann in Petersburg ein Opfer seiner

eifrigen, aber ohne die nöthigen Vorsichtsmaßregeln ausgeführten Bemühungen. Derselbe wurde am 6. August 1753 durch ein Blitzschlag getödtet, welcher an einer Drathleitung herabfuhr, die vom Dache herab sich bis zu einer im Beobachtungszimmer angebrachten eisernen Stange erstreckte. Der zugleich anwesende Maler Sokolow, welchen Richmann gewöhnlich zu seinen electrischen Beobachtungen hinzuzog, sah, wie aus der eisernen Stange ein weißlich-blauer Feuerball von der Größe einer Faust nach Richmann's Stirn fuhr, die etwa einen Fuß von der eisernen Stange abstand. — Richmann beobachtete nehmlich einen an der Stange angebrachten Electricitätszeiger, welcher aus einem an derselben befestigten Faden bestand, der sich um einen mehr oder weniger großen Winkel nach Maßgabe der electrischen Ladung von derselben entfernte. — Auch Sokolow stürzte, durch den Blitzschlag betäubt, zu Boden, erholte sich jedoch bald wieder. An Richmann dagegen konnte kein Lebenszeichen mehr wahrgenommen werden.

Die Luftelectricität.

Aus den in neuerer Zeit an verschiedenen Orten und natürlich mit größerer Vorsicht angestellten Beobachtungen hat sich ergeben, daß die Luft nicht bloß zur Zeit eines Gewitters, sondern auch zu anderen Zeiten, besonders auch bei völlig heiterem Himmel electrisch ist. Die Electricität ist in diesem Falle beständig positiv; bei Gewittern, überhaupt bei vorüberziehenden Wolken dagegen werden häufige Wechsel von positiver und negativer Electricität beobachtet. Nebel und Wolken sind in der Regel electrisch, am häufigsten positiv. Auch die Niederschläge aus der Atmosphäre, Regen und Schnee, besonders Hagel, sind fast immer electrisch, zuweilen in so hohem Maaße, daß die Regentropfen oder Hagelkörner, indem sie den Boden berühren, leuchten. Die Electricität der Niederschläge ist bald positiv, bald negativ; zuweilen wechseln bei dem nehmlichen Regen positive und negative Electricität miteinander ab.

Die Ursache der Luftelectricität ist bis jetzt noch nicht mit Sicherheit ermittelt. Man hat dieselbe früherhin in der Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche zu finden geglaubt; spätere Untersuchungen haben jedoch diese Ansicht nicht bestätigt.

Die Gewitterwolke.

Als feststehende Bedingung für die Entstehung eines Gewitters kann Wolkenbildung, also nach dem früher Vorgetragenen Vermischung warmer feuchter Luft mit kalter, angesehen werden. Je rascher diese vorschreitet, um so größer dürfte auch die Menge der in der Wolke sich sammelnden Electricität sein. Daher sind auch in unseren Gegenden die Gewitter im Sommer bei weitem häufiger, als im Winter, weil im Sommer die Luft wegen ihrer höheren Temperatur eine weit größere Dampfmenge zu fassen vermag und daher auch eine bei weitem raschere und reichlichere Condensation erfolgen kann. Nur bei heftigen Stürmen pflegt diese auch im Winter einzutreten; es sind daher die Wintergewitter gewöhnlich mit starkem Winde verbunden. Dieselben kommen überhaupt häufiger an den Küsten, als im Inneren des Landes vor; denn da im Winter das Meer eine höhere Temperatur, als das feste Land besitzt, so muß die über jenem lagernde feuchte Luft, so wie sie durch Winde nach dem Festlande hingetrieben wird, sich hier abkühlen, und in Folge dessen eine Condensation der Dämpfe eintreten. Ja an den steilen Küsten Norwegens, an denen die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken große Wassermassen entladen, sind die Wintergewitter selbst häufiger, als die Sommergewitter.

In Deutschland kommen während eines Jahres auf den nehmlichen Ort etwa 18 Gewitter; der an Gewittern reichste Monat ist in der Regel der

Juli. Die meisten Gewitter bewegen sich hier von Südwest nach Nordost, so wie ja auch südwestliche Winde in Deutschland die vorherrschenden Regenwinde sind.

Daß die Gewitterwolken gegen die Winde ziehen, ist eine unverständige Behauptung Richtig aber ist es und mit dem oben über die Bedingung der Entstehung eines Gewitters Gesagten übereinstimmend, daß bei Gewittern häufig in verschiedenen Höhen Luftströmungen von verschiedener Richtung stattfinden, und daß daher die Gewitterwolken häufig in einer ganz anderen Richtung ziehen, als dem Winde, welchen wir an der Erdoberfläche beobachten, entspricht.

Die Höhe der Gewitterwolken dürfte im Mittel 5000 bis 6000 Fuß betragen, zuweilen 1000 Fuß nicht übersteigen. Wenn Gewitterwolken sich an ein Gebirge anlehnen, so giebt die bekannte Höhe des Gebirges einen Maaßstab für die Höhe der Gewitterwolken. Nach Alex. von Humboldt kommen in der heißen Zone Amerika's in 12,000 Fuß Höhe nur selten Gewitter vor.

Die mit Electricität geschwängerte Gewitterwolke entladet sich theils nach benachbarten Wolken, theils nach der unter ihr befindlichen Erdoberfläche. Die bei weitem größere Zahl der Blitze geht jedoch von einer Wolke zur anderen über; die zur Erde gehenden Blitze, die sogenannten einschlagenden Blitze, machen sich, wenn sie in der Nähe niederfahren, durch das eigenthümliche Prasseln des dieselben begleitenden Donners kenntlich. Der Blitz.

Nehmen wir an, daß die Gewitterwolke mit positiver Electricität geladen ist, so wird derjenige Theil der Oberfläche der Erde, über welchem dieselbe schwebt, nach dem Princip der electrischen Influenz mit negativer Electricität geladen. Vorzugsweise gilt dieß von dem feuchten, also besser leitenden Erdreiche, welches immer in mehr oder minder großer Tiefe angetroffen wird. Diese sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten der Gewitterwolke (+ E) und des feuchten Erdreichs (— E, Fig. 175) vereinigen sich in einem Blitzschlage, wenn ihre gegenseitige Anziehung stark genug ist, den Leitungs-

(Fig. 175.)



widerstand der dieselben trennenden Luftschicht zu überwinden. Die Entladung, das sogenannte Einschlagen des Blitzes, wird daher um so eher stattfinden können, je stärker die Wolke geladen ist, je niedriger dieselbe schwebt, je höhere und spitzere Gegenstände (in Fig. 175 der Gipfel eines Baumes) derselben von der Erde her entgegen ragen. Es wird dasselbe ferner durch niederfallenden Regen begünstigt werden, da dieser das Leitungsvermögen der Luft verbessert, obschon andererseits auch anhaltender Regen, da er die Electricität der Gewitterwolken nach der Erde allmählig ableitet, eine beträchtliche Ansammlung der Electricität in den Wolken überhaupt und folglich auch den Ausbruch derselben in einem Blitzschlage gänzlich verhindern kann.

Da selbst die feuchte Luft doch nur ein schlechter Leiter ist, so sucht sich der Blitz den Sprung durch die Luft möglichst zu verkürzen; er trifft daher vorzüglich die höchsten, als die der darüber schwebenden Gewitterwolke nächsten Gegenstände. Auch seinen weiteren Weg zur Erde nimmt er fast immer an festen Körpern hin und macht nur in seltenen Fällen einen kurzen Sprung durch die Luft, besonders dann, wenn er so auf einem bedeutend kürzeren Wege zu guten Leitern gelangt, welche ihn nach seinem Ziele, dem feuchten Erdreiche, hinführen. Nicht sowohl die guten Leiter an sich, als vielmehr diejenigen, welche diesem Zwecke dienen, und in so weit sie dieß thun, wirken anziehend auf den Blitz.

Erwägen wir überhaupt, daß der Blitz die Ausgleichung der sich wechselseitig anziehenden entgegengesetzten Electricitäten der Gewitterwolke und des feuchten Erdreichs ist, so erklärt sich hieraus sofort, warum der Blitz auf seinem Wege zur Erde vorzugsweise den besseren Leitern der Electricität folgt, oder genauer ausgedrückt, allemal denjenigen Weg wählt, auf welchem die Summe der Leitungswiderstände von derjenigen Stelle, welche er zuerst getroffen, bis zu dem feuchten Erdreiche am kleinsten ist.

Von den Wirkungen, welche der Blitz auf die Körper, an denen er niederfährt, hervorbringt, ist zum Theile schon oben die Rede gewesen. Wir fügen noch hinzu, daß an guten Leitern, ins Besondere an Metallen von hinreichend großem Querdurchschnitte, der Blitz in der Regel, ohne eine Spur seines Weges zu hinterlassen, niederfährt. Der Außerachtlassung dieses Umstandes dürften vorzugsweise die unsinnigen Berichte, welche man nicht selten in Zeitungen über die Bahn des Blitzes zu lesen bekommt, zuzuschreiben sein *). Ist dagegen der Blitz gezwungen, seinen Weg über schlecht leitende Substanzen zu nehmen, so bezeichnet er denselben gewöhnlich durch Beschädigungen und Zerschmetterungen sehr deutlich; eben so werden brennbare Stoffe häufig, aber nicht immer entzündet. Aehnliches galt ja auch von dem electrischen Funken, selbst in Hinsicht des so leicht zündlichen Schießpulvers.

Hat der Blitz das feuchte Erdreich erreicht, so ist jede Spur desselben verschwunden, wenn er auch vielleicht kurz vorher noch seine Bahn durch die stärksten Verwüstungen bezeichnet hat.

Wenn der Blitz in sehr trockenen Sand einschlägt, so geschieht es wohl, daß die Sandkörner geschmolzen werden und zu einer dünnen, aber oft viele

*) Ueberhaupt werden über Blitzschläge oft die sonderbarsten Dinge erzählt, welche zum Theile von der Befangenheit der Beobachter, zum Theile von gewissen im Volke verbreiteten Sagen herrühren. Wir erinnern in dieser Hinsicht an die Donnerkeile, den kalten Schlag u. dgl. m.

Fuß langen Röhre zusammenbacken. Es führen diese Röhren, welche zuerst im Jahre 1805 in den Sandhügeln der Senner Haide in Westphalen, später aber auch in vielen anderen Gegenden aufgefunden worden sind, den Namen Blitzröhren.

Der Blitzableiter.

Da der Blitz an guten Leitern von hinreichender Stärke, ohne dieselben zu verletzen, herabgeht, so können Gebäude gegen Beschädigung durch den Blitz durch den zuerst von Franklin angegebenen Blitzableiter geschützt werden. Nach der gewöhnlichen Einrichtung hat man an demselben zwei Theile, die Auffangestange und die Ableitungsstange, zu unterscheiden. Beide sind starke Stangen von Eisen. Die erstere ragt mehrere Fuß über die höchsten Punkte des Gebäudes hervor und endet in einer Spitze, welche zur Abhaltung des Rostes vergoldet ist. Längere Gebäude bedürfen mehrere Auffangestangen. Man nimmt an, daß die Auffangestangen auf einen Umkreis, dessen Radius der anderthalb- bis zweifachen Höhe, um welche die Spitze der Auffangestange die höchsten Punkte des Gebäudes überragt, gleich ist, Schutz gewährt. Die mit der Auffangestange verbundene Ableitungsstange läuft zunächst über den ganzen First des Daches und von da hinab in die Erde bis zu einer solchen Tiefe, in welcher auch im trockensten Sommer noch Feuchtigkeit angetroffen wird.

Das St. Elmsfeuer.

Zu den auf der Luftelectricität beruhenden Erscheinungen gehören auch das sogenannte St. Elmsfeuer und das Nordlicht. Unter dem ersteren versteht man die Erscheinungen, daß bei hohen Graden der Luftelectricität des Nachts sich an hervorragenden Spitzen, an den Spitzen der Thürme, der Masten, der Bäume, ja selbst an den Ohren und Mähnen der Pferde kleine Flämmchen zeigen. Diese Erscheinung wird häufiger bei Winter-, als bei Sommergewittern wahrgenommen, was ohne Zweifel seinen Grund darin hat, daß bei ersteren die Wolken niedriger schweben.

Vielleicht dürften die noch nicht mit hinreichender Genauigkeit und Sicherheit beobachteten Irrlichter zuweilen einen ähnlichen Ursprung haben.

Das Nordlicht.

Das Nordlicht zeigt sich am prachtvollsten in den langen Winternächten der Polargegenden und tritt gleichsam an die Stelle der in diesen Gegenden fehlenden oder höchst seltenen Gewitter. Dasselbe erscheint hier als ein hellleuchtender, ein dunkleres Segment umschließender Bogen, dessen Mittelpunkt ohngefähr in der Richtung des magnetischen Nordpoles liegt. Von diesem Bogen aus gehen von Zeit zu Zeit Lichtbüschel aus, welche sich nach verschiedenen Richtungen und bis über das Zenith hinaus erstrecken. Die Farbe der Strahlen ist gewöhnlich roth oder gelb.

Auf der südlichen Erdhälfte zeigen sich in ähnlicher Art Südlichter.

Daß das Nordlicht eine electrische Erscheinung ist, geht schon daraus hervor, daß es die Magnetnadel afficirt (S. 196), und sein Mittelpunkt in die Richtung des magnetischen Meridianes fällt. Auch hat die ganze Erscheinung mit dem Lichtschein ausströmender Electricität im Dunkeln die größte Aehnlichkeit.

Indem wir hiermit von den Erscheinungen der atmosphärischen Electricität und der Zurückführung dieser Erscheinungen auf die theoretischen Sätze der Electricitätslehre abbrechen, führen wir nun diese selbst weiter, indem wir auch jetzt, so wie in dem Vorhergehenden, dem historischen Entwickelungsgange dieses Zweiges der Physik folgen.

Unsere Leser erinnern sich hoffentlich noch, wie die zwischen den Jahren 1750 und 1760 von Canton, Wilke und Aepinus angestellten Untersuchungen zur Erkenntniß des Princips der Influenz geführt haben, und wie

sich aus diesen sehr einfach die durch die Flasche bewirkte Verstärkung, die Methode ihrer Ladung und Entladung erklärte.

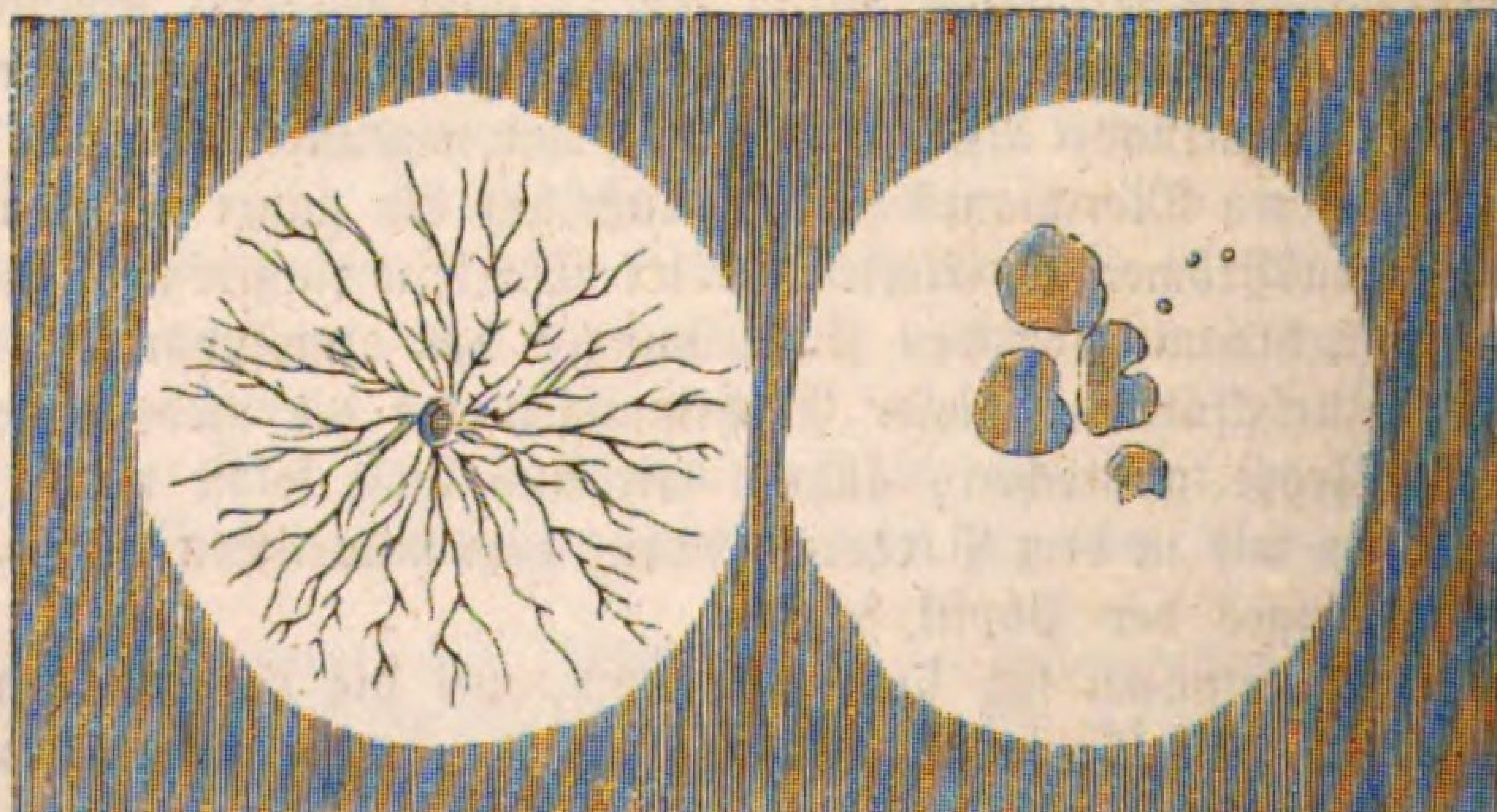
Ehe wir unseren Lesern einen anderen von Volta erfundenen, ebenfalls sehr wichtigen und auf dem nehmlichen Principe beruhenden Apparat vorführen, wollen wir denselben noch vorher eine Frage beantworten, welche sich ihnen vielleicht schon längst bei der Lectüre des Vorhergehenden aufgedrängt haben dürfte. Wir haben so oft von zwei verschiedenen Electricitäten, positiver und negativer Electricität, gehandelt, welche sich gegenseitig anziehen, während positive und positive, negative und negative Electricität sich abstoßen, woraus sich uns ein Mittel zur Unterscheidung derselben ergab. Sehr nahe liegt nun die Frage, ob zwischen denselben nicht noch ein anderer, ein specifischer Unterschied stattfindet, ob nicht einer jeden derselben eigenthümliche Eigenschaften zukommen, welche der anderen abgehen?

Wenn wir hierauf antworten, daß fast in allen Fällen — mit ganz wenigen Ausnahmen — beide Electricitäten in ihren Wirkungen übereinstimmen, so wird dies unsere Leser um so weniger befremden können, wenn sich dieselben erinnern, daß niemals eine Electricität allein, sondern immer beide zugleich auftreten, daß die in einem Körper angehäufte positive oder negative Electricität in den umgebenden Körpern an der zugewendeten Seite zugleich die entgegengesetzte Electricität hervorruft, und daß der electrische Funke durch die Vereinigung beider entgegengesetzten Electricitäten entsteht. Wie gesagt, man kennt nur wenig Fälle, in denen sich in der Wirkungsweise der positiven und der negativen Electricität eine Verschiedenheit zeigt. Einen solchen Fall haben wir bereits oben angeführt, nehmlich bei der Ausstrahlung aus Spitzen in atmosphärischer Luft zeigt sich am positiven Conductor ein weit größerer Strahlenbüschel, als am negativen.

Die Lichtenbergischen Figuren.

Eine andere Verschiedenheit weisen die sogenannten electrischen Figuren auf, welche zuerst Lichtenberg in Göttingen 1777 dargestellt hat. Man erhält dieselben am einfachsten, wenn man eine electrische Flasche einmal mit positiver, das andere Mal mit negativer Electricität ladet und dann den Knopf der inneren Belegung mit einem Harzkuchen oder mit einer Platte, welche man mit geschmolzenem Pech überzogen hat, in Berührung bringt. Ueberpudert man nun diese Stellen mit Hexenmehl (semen lycopodii), so bildet sich an der positiv-electrisirten Stelle eine sternförmige, an der negativ-electrisirten Stelle eine mehr rundliche Figur, in der Art, wie dies Fig. 176 zeigt.

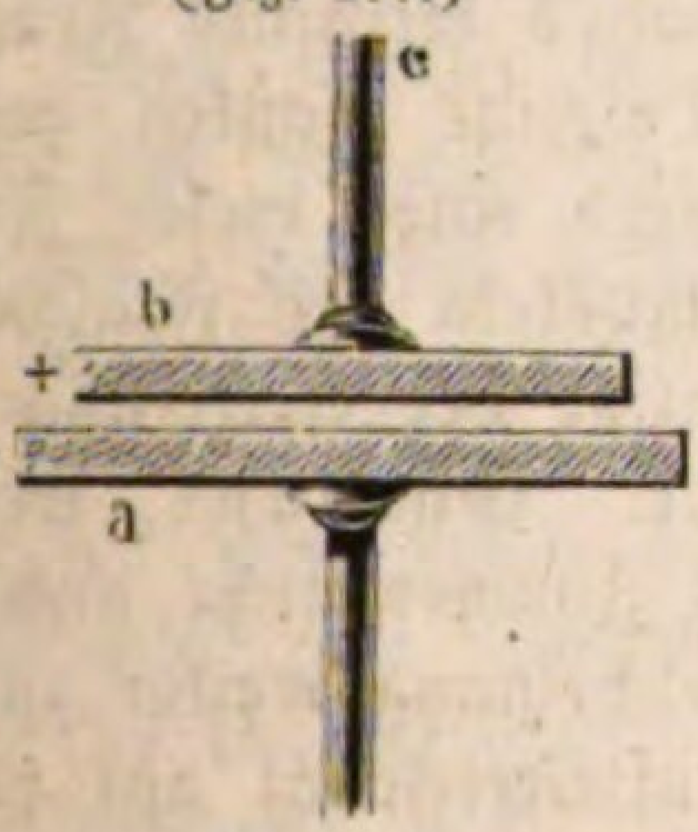
(Fig. 176.)



Nach dieser Einschaltung gehen wir nun zu der Beschreibung des von Volta im Jahr 1782 erfundenen Condensators über, dessen Einrichtung und Gebrauch, ganz eben so wie bei der electrischen Flasche, auf dem Princip der Influenz beruhen, nur mit dem Unterschiede, daß, während durch diese die ohnehin schon kräftige Electricität, welche die Electrisirmaschine liefert, noch um ein Beträchtliches verstärkt wird, der Condensator zur Verstärkung sehr schwacher Electricitäten dient, wodurch derselbe zu einem für die Physiker höchst wichtigen und nützlichen Werkzeuge wird, um sehr schwache Electricitäten, welche sich ohnedieß der Wahrnehmung entziehen würden, aufzufinden oder das Vorhandensein derselben nachzuweisen. Der Condensator.

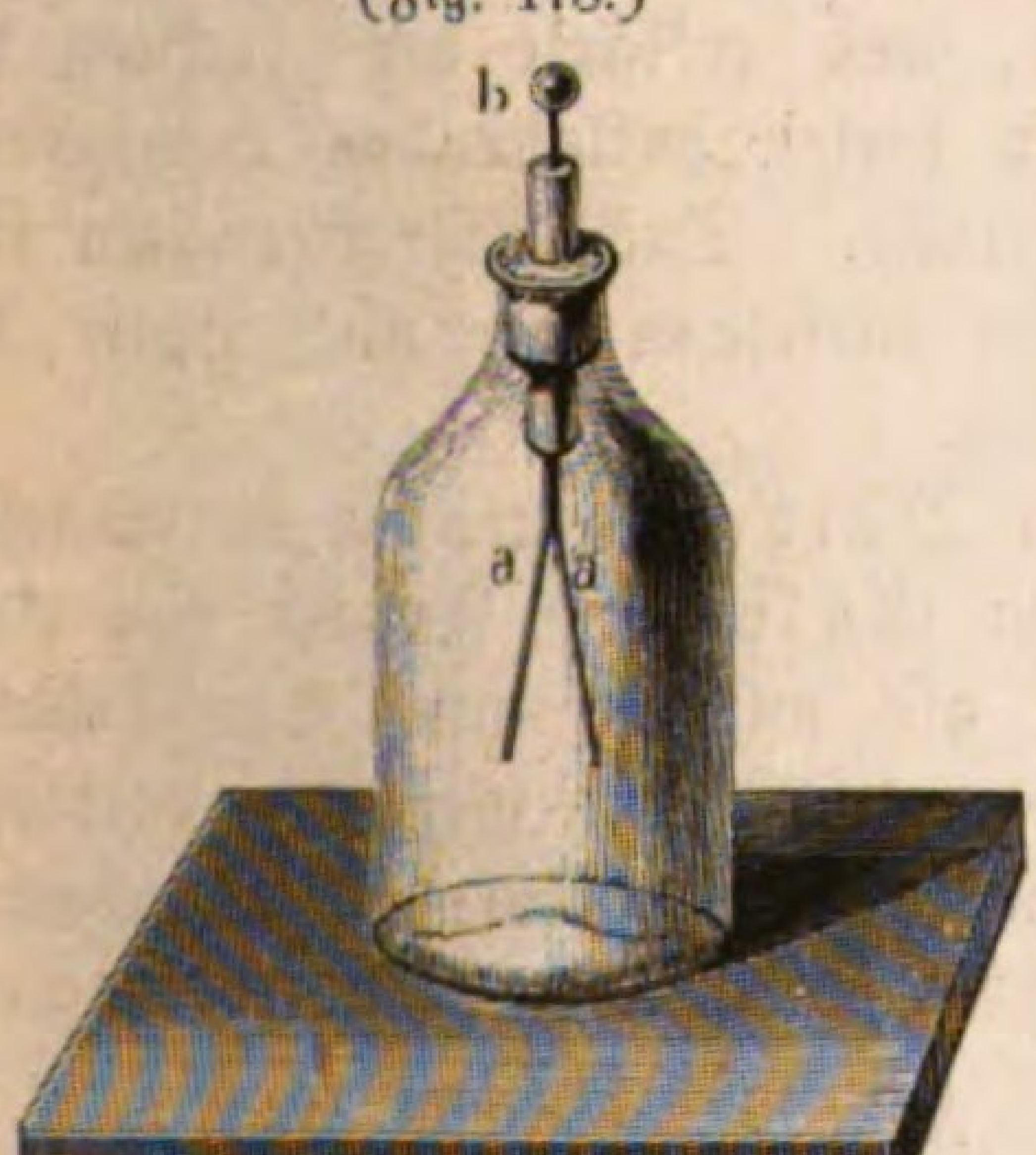
Nach der einfachsten Einrichtung besteht der Condensator aus zwei Metallplatten, a und b, Fig. 177, welche an den einander zugewendeten Seiten mit einer dünnen Firnißschicht überzogen und so gegeneinander isolirt sind. Die obere Platte b, welche Collectorplatte genannt wird, ist mit einem isolirenden Handgriffe c versehen, die untere Platte a, die Condensatorplatte, steht mit der Erde in leitender Verbindung. Wenn nun die Collectorplatte b mit einem schwach, z. B. positiv electrisirten Körper berührt wird, so zieht die in diese Platte übergehende positive Electricität in der Condensatorplatte a negative Electricität an, welche ihrerseits wieder anziehend auf die positive Electricität der Collectorplatte wirkt. In Folge hiervon geht aus dem mit der Collectorplatte in Berührung gebrachten, positiv electrisirten Körper weit mehr Electricität über, als ohne dieß der Fall gewesen sein würde. Die so geladene Collectorplatte wird dann von der Condensatorplatte abgehoben, wodurch die in dieselbe übergegangene und bis dahin von der entgegengesetzten Electricität der Condensatorplatte angezogene und gebundene Electricität frei wird und sich nun an einem geeigneten Electroscope nachweisen läßt.

(Fig. 177.)



Ein sehr empfindliches Electroscop ist von Bennet 1787 angegeben worden. Dasselbe besteht aus zwei Goldblättchen — Volta selbst wendete zu gleichem Zwecke zwei Strohhälmchen an — welche innerhalb eines Glases an dem unteren Ende eines metallenen Stäbchens befestigt sind, dessen oberes, außerhalb des Glases befindliches Ende eine metallene Kugel b oder Platte trägt, Fig. 178. Bei Annäherung eines electrischen Körpers an die Kugel oder Platte wird aus dieser die gleichnamige Electricität nach den Blättchen aa hin abgestoßen, und in Folge hiervon werden diese selbst auseinander getrieben. Electroscop

(Fig. 178.)



Den höchst nützlichen Gebrauch, welchen Volta von dem durch ihn erfundenen Condensator gemacht hat, die wichtigen Entdeckungen, welche wir demselben verdanken, werden wir sogleich kennen lernen. Wir schalten nur noch ein, ehe wir in dieses neue Gebiet eintreten, daß um das eben ange- Gesetz der electrischen Anziehung.

führte Jahr 1787 ein französischer Physiker Coulomb sehr genaue Abmessung über die electrischen Kräfte ausgeführt und unter anderen gezeigt hat, daß auch für die electrische Anziehung und Abstoßung das nehmliche Gesetz wie für alle anderen Naturkräfte, welche wir kennen gelernt haben, gilt, nehmlich daß dieselben abnehmen umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung wächst, also in der doppelten, dreifachen Entfernung u. s. w. auf den vierten, neunten Theil u. s. w. herabgeht.

Galvani's Entdeckung.

Wir wenden uns nun zu Entdeckungen, durch welche sich für die Electricitätslehre ein ganz neues Feld eröffnet hat, das bis auf unsere Tage durch neue Entdeckungen sich noch fortwährend erweitert. Die erste dieser Entdeckungen ist im Jahre 1786 durch Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, gemacht worden. Eines Abends lagen in einem Zimmer desselben, in welchem sich eine Electrisirmaschine befand, auf einem Tische enthäutete Frösche, welche zu einer Brühe für Galvani's erkrankte Frau bestimmt waren. Als aus dem Conductor der Maschine Funken gezogen wurden, während zufällig ein Gehülfe den Cruralnerv eines dieser Frösche mit einem Messer berührte, geriethen die Schenkelmuskeln des Frosches in eine heftige Zuckung, was sich leicht aus dem Prinzipe der electrischen Influenz, welches wir oben kennen gelernt haben, erklärt. Galvani, welcher, als die Erscheinung zuerst beobachtet wurde, in dem Zimmer nicht anwesend war, suchte, auf dieselbe aufmerksam gemacht, die Erscheinung weiter zu verfolgen und hing in der Absicht, den Einfluß der Luftelectricität auf präparirte Froschschenkel zu beobachten, dieselben im Freien an einem eisernen Gitter auf. Als hierbei die durch das Rückenmark des Thieres gesteckten kupfernen Dräthe und die Schenkel selbst zugleich mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen, geriethen dieselben in eine lebhafte Zuckung.

Galvani, welcher diese höchst auffallende Erscheinung noch weiter studirte, suchte dieselbe als die Wirkung einer besonderen thierischen Electricität zu erklären. Volta, Professor der Physik zu Padua, zeigte dagegen, daß, so oft zwei verschiedenartige Metalle, bei den eben beschriebenen Beobachtungen Galvani's Kupfer und Eisen, mit einander in Berührung kommen, sich dieselben gegenseitig electrisch erregen, das eine sich mit positiver und das andere mit negativer Electricität ladet, und erklärte die Zuckung des Froschschenkels als eine Folge der sich durch diesen entladenden entgegengesetzten Electricitäten der sich berührenden Metalle. Diese Electricitäten sind jedoch äußerst schwach, und Volta vermochte dieselben nur mit Hülfe des von ihm erfundenen Condensators nachzuweisen.

Die in neuerer Zeit besonders von du Bois-Reymond in weitester Ausdehnung angestellten Untersuchungen haben Galvani's Ansicht von einer thierischen Electricität in so fern bestätigt, als wirklich durch den Lebensprozeß electrische Ströme hervorgerufen werden, und auch wenn der entblößte Nerv und Muskel eines Froschschenkels, wie schon Galvani beobachtet hatte, nicht mit verschiedenen, sondern mit dem nehmlichen Metalle zugleich berührt werden, eine Zuckung eintritt. Als ein weit kräftigeres Agens ist jedoch die durch die Berührung der verschiedenartigen Metalle hervorgerufene electrische Erregung anzusehen.

Die stärkste Wirkung geben unter den bekannteren Metallen Zink und Platin, demnächst Zink und Gold; etwas schwächer zeigt sich Zink in der Verbindung mit Silber, noch schwächer mit Kupfer. Man wendet jedoch diese Combination: Zink und Kupfer besonders häufig an, weil das Kupfer

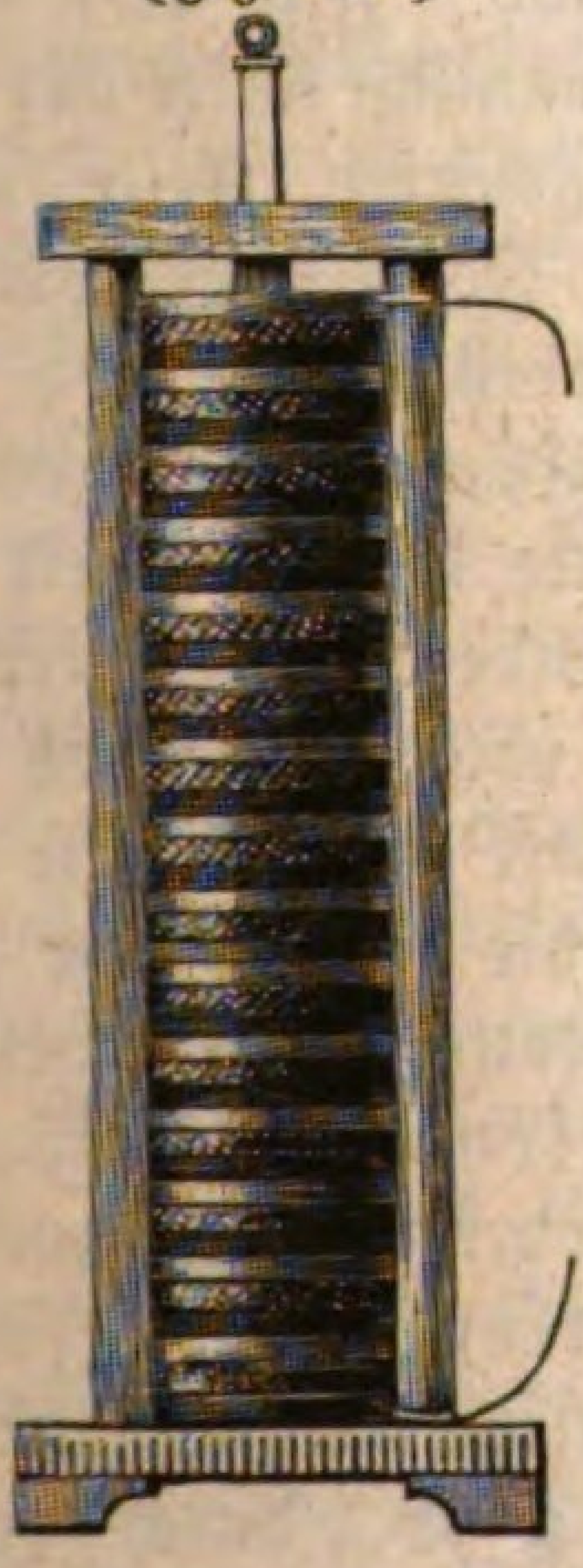
so vielmal wohlfeiler ist, als die edleren Metalle Platin, Gold oder Silber, und ebenfalls noch recht kräftige Wirkungen liefert. Andere unedle Metalle, wie Eisen, Blei oder Zinn, stehen, wenn sie statt des Zinks mit einem edleren Metalle, wie Platin, Gold, Silber oder Kupfer verbunden werden, dem Zink in der Stärke der Wirkungen nach. Sehr kräftige Wirkungen werden auch durch die Verbindung von Zink und Kohle hervorgebracht, worauf wir noch weiter unten zurückkommen werden.

Wenn man mehrere Metalle mit einander in Berührung bringt, z. B. Platten von Gold, Silber, Platin, Kupfer und Zink übereinander schichtet, so ist der Erfolg ganz derselbe, als wenn die erste und letzte Platte, also in dem angeführten Falle Gold und Zink, sich unmittelbar berührten. Die electrische Erregung ist daher die nehmliche, wenn zwei Metalle in unmittelbare Berührung gebracht, oder wenn dieselben durch ein drittes Metall, z. B. durch einen Drath in leitende Verbindung gesetzt werden. Wesentlich ist jedoch, daß zwischen den verbundenen Metallen wirklich metallische Berührung stattfindet, die sich berührenden Flächen von jeder Verunreinigung frei sind.

Die Volta'sche Säule.

Wie schon bemerkt, wird die Wirkung nicht verstärkt, wenn mehrere Metallplatten über einander geschichtet werden. Dem Scharfsinn Volta's verdanken wir jedoch die Auffindung des geeigneten Mittels, durch Vervielfältigung der Platten verstärkte Wirkungen hervorzurufen. Dieses Mittel besteht in der Einschaltung eines feuchten Leiters, welcher zwischen die festen Leiter gebracht wird. Volta gelangte auf diese Art zuerst gegen das Ende des Jahres 1799 zur Construction der nach ihm benannten Säule, welche seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich gemacht hat.

(Fig. 179.)



Bei den eigentlichen Volta'schen Säulen, nach der ursprünglichen Construction, Fig. 179, wendet man als feuchten Zwischenleiter Papp- oder Tuchscheiben an, welche man mit einer verdünnten Salzlösung oder Säure tränkt. Man schichtet dann die Zink- und Kupferplatten, welche etwa 2 bis 4 Zoll Durchmesser haben, und die angefeuchteten Papp- oder Tuchscheiben in der Folge

Zink, Feuchtigkeit, Kupfer, Zink, Feuchtigkeit, Kupfer u. s. f.,

oder in der umgekehrten Folge

Kupfer, Feuchtigkeit, Zink, Kupfer, Feuchtigkeit, Zink u. s. f.,

bis zu 50 und 100 Plattenpaaren über einander. Will man noch mehr Platten verbinden, so richtet man mehrere Säulen auf und bringt die oberste Platte der ersten Säule mit der untersten Platte der zweiten, die oberste Platte der zweiten mit der untersten Platte der dritten Säule u. s. w. durch einen Drath in leitende Verbindung.

Galvanische Kette und Batterie.

Die einfachste Combination, bestehend aus einer Zink- und Kupferplatte und einem beide trennenden feuchten Leiter, nennt man eine einfache galvanische Kette, im Gegensatze zu der eben beschriebenen Säule oder zusammengesetzten Kette. Statt des Kupfers wird in derselben, wie schon oben angeführt, noch zweckmäßiger Platin oder Kohle angewendet, und statt die Platten durch zwischengelegte Papp- oder Tuchscheiben zu trennen, kann man dieselben auch in mit verdünnter Säure oder Salzlösung gefüllte Gefäße

tauchen. Sollen mehrere derartige einfache Ketten mit einander zur Säule oder Batterie vereinigt werden, so verbindet man die Kupferplatte der ersten Zelle durch einen Kupferstreifen mit der Zinkplatte der zweiten, die Kupferplatte der zweiten Zelle mit der Zinkplatte der dritten Zelle u. s. w., wie dieß Fig 180 schematisch darstellt.

(Fig. 180.)

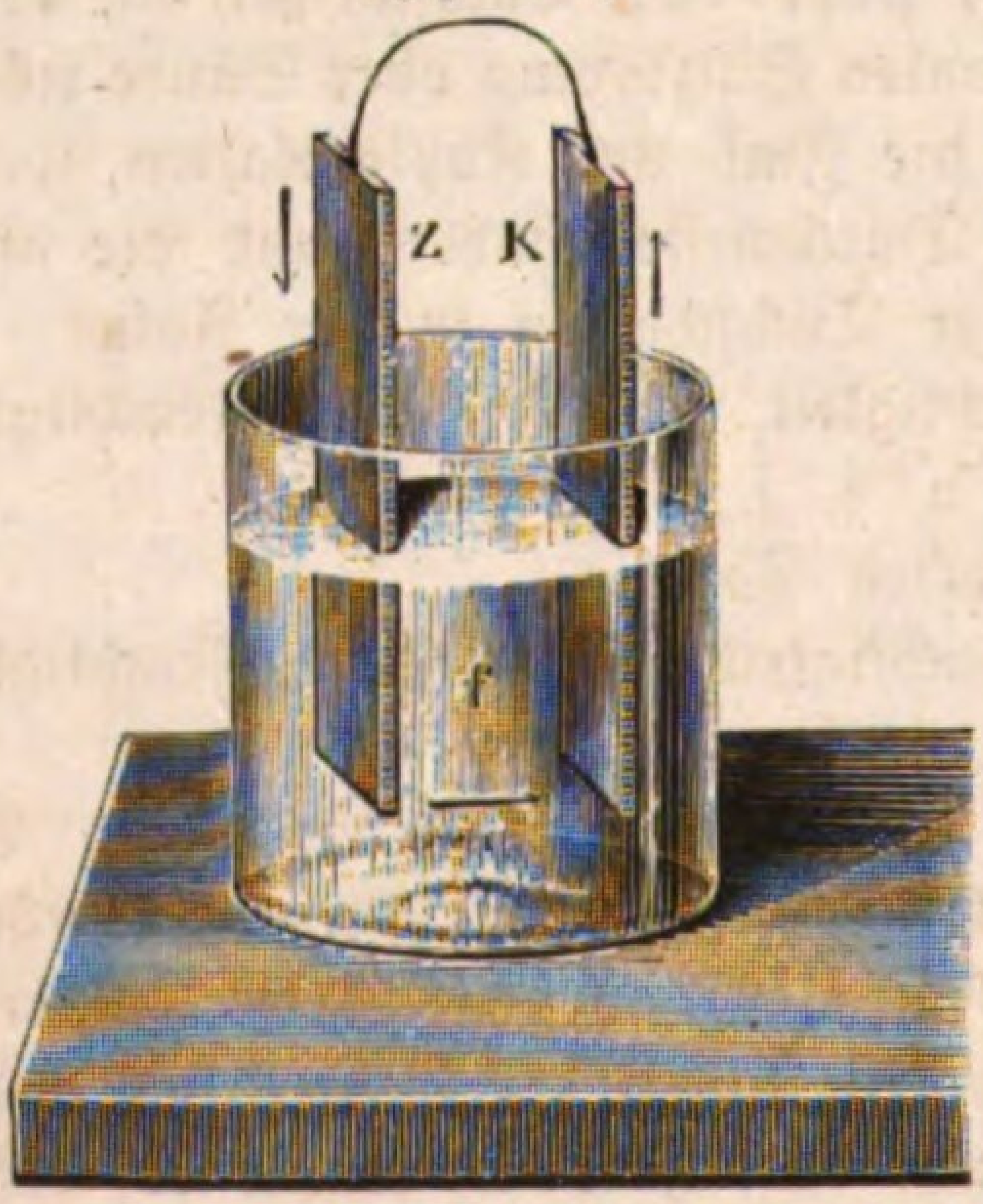


Bei den Zink-Kohlen- oder Zink-Platin-Ketten wendet man gewöhnlich zwei Säuren, nehmlich Salpeter- und Schwefelsäure an, welche durch eine Scheidewand von porösem Thone getrennt sind, welche, ohne die Communication der beiden Flüssigkeiten ganz aufzuheben, doch das Zusammenfließen derselben verhindert. Diese Ketten haben vor den Ketten mit nur einfacher Flüssigkeit den Vorzug größerer Beständigkeit in den Wirkungen und werden daher zum Unterschiede von denselben constante Ketten genannt. Ausführlicher wird von den constanten Ketten in dem Abschnitte über electrische Telegraphie die Rede sein.

Die geschlossene oder geöffnete Kette.

An jeder galvanischen Kette haben wir zwei wesentlich verschiedene Zustände zu unterscheiden. Dieselbe kann nehmlich entweder geöffnet oder geschlossen sein. Die Kette heißt geöffnet, wenn die beiden festen Leiter, als welche wir Zink und Kupfer annehmen wollen, nur mit dem flüssigen Leiter in Berührung sind, aber sich selbst an keiner Stelle berühren und auch durch keinen festen Leiter mit einander verbunden sind. Die Kette heißt dagegen geschlossen, wenn auch die beiden festen Leiter, Zink und Kupfer, entweder unmittelbar oder mittelbar, z. B. durch einen Drath mit einander leitend verbunden sind. Fig. 181 stellt eine geschlossene galvanische Kette dar. — In der zusammengesetzten Kette oder Batterie steht zu Folge der obigen Beschreibung (S. oben Fig. 180) immer in je zwei aufeinander folgenden Zellen die Zinkplatte der einen mit der Kupferplatte der anderen in leitender Verbindung. Nur von den beiden äußersten Zellen enthält die eine eine unverbundene Zink-, die andere eine unverbundene Kupferplatte. Die Batterie heißt nun geschlossen oder geöffnet, je nachdem diese beiden Platten, welche man die Polplatten nennt, (nicht blos durch die Batterie selbst, sondern noch anderweitig, z. B. durch einen Drath) mit einander leitend verbunden sind oder nicht.

(Fig. 181.)



An der geöffneten Kette oder Batterie zeigt die unverbundene Kupferplatte freie positive und die unverbundene Zinkplatte freie negative Electricität. Diese Electricitäten sind unter übrigens gleichen Umständen um so stärker, je größer die Zahl der die Batterie zusammensetzenden Elemente ist. Aber auch bei einer aus 50 und mehr Zinkkupferelementen bestehenden und gehörig isolirten Säule sind dieselben doch immer noch so schwach, daß es, um dieselben nachzuweisen, eines empfindlichen Electroscopes bedarf. — Die

Intensität dieser Electricitäten nimmt überdieß von den Polen gegen die Mitte hin bis zum gänzlichen Verschwinden ab, so daß also die geöffnete und gehörig isolirte Säule die größte Aehnlichkeit mit einem Magneten darbietet.

Der galvanische Strom.

Werden die Pole der (einfachen oder zusammengesetzten) Kette mit einander leitend verbunden, so gleichen sich die entgegengesetzten Electricitäten gegenseitig aus; indem aber wegen der fortdauernden Berührung der die Kette zusammensetzenden festen und flüssigen Leiter und der aus dieser Berührung hervorgehenden electrischen Erregung sich die Polplatten immer wieder aufs Neue laden und entladen, findet von dem Kupferpole nach dem Zinkpole hin durch den beide verbindenden Leiter eine beständige Strömung der positiven Electricität und eben so eine fortwährende Strömung der negativen Electricität von dem Zinkpole zum Kupferpole statt, während natürlich durch die Batterie selbst der positive Strom vom Zink zum Kupfer, der negative vom Kupfer zum Zink geht.

Wenn die äußere und innere Belegung einer electrischen Flasche, von welcher wir annehmen wollen, daß die innere Belegung derselben mit positiver, die äußere mit negativer Electricität geladen ist, mit einander leitend verbunden werden, so geht im Moment der Entladung durch den beide Belegungen verbindenden Leiter ebenfalls ein doppelter electrischer Strom, eine Strömung von positiver Electricität von der inneren nach der äußeren und eine Strömung von negativer Electricität von der äußeren nach der inneren Belegung. Dieser Entladungsstrom der electrischen Flasche unterscheidet sich jedoch von dem electrischen Strome der galvanischen Kette einerseits durch seine unvergleichlich größere Heftigkeit, andererseits aber auch durch seine kurze, nur auf einen Moment beschränkte Dauer, während der so vielmal schwächere Strom der galvanischen Kette nicht blos auf den Moment der Schließung beschränkt ist, sondern so lange fortdauert, als die Kette geschlossen und überhaupt in Thätigkeit ist. — Vergleichen wir den Entladungsschlag einer electrischen Flasche in der Heftigkeit seiner Wirkungen mit der Explosion einer Pulvermasse, so wird sich uns die Strömung eines fließenden Wassers als ein passendes Bild für die durch den Schließungsbogen einer galvanischen Kette sich bewegenden Electricitäten darbieten. Während die explodirende Pulvermasse nur plötzlich vorübergehend und zerstörend wirkt, werden durch einen Wasserstrom die Räder an Mühlen und anderen Maschinen in regelrechtem Umlauf unterhalten. Diesem ganz ähnlich findet auch die galvanische Electricität wegen ihrer andauernden und regelmäßigen Wirkung vorzugsweise und fast ausschließlich Anwendung in den Gewerben und Künsten.

Indem, wie oben bemerkt, die galvanische Electricität selbst bei Batterieen, welche aus zahlreichen Elementen bestehen, verglichen mit der durch Reibung erregten Electricität, nur eine geringe Intensität besitzt, entspringt hieraus der Vortheil, daß sie sich bei weitem leichter isoliren läßt, als diese. Alle Isolirung beruht ja auf dem Widerstande, welchen schlechte Leiter der Fortleitung der Electricität entgegensetzen. Eine je höhere Intensität aber die zu isolirende Electricität besitzt, um so leichter wird sie diesen Leitungswiderstand überwinden, und um so schwieriger wird sich dieselbe folglich hinreichend isoliren lassen. Eben vermöge ihrer geringen Intensität wird es möglich, die galvanische Electricität durch Telegraphendräthe, welche durch kleine von hölzernen Stangen getragene Glassäulchen isolirt sind, Hunderte von Meilen fortzuleiten.

Indem wir nach dieser Charakterisirung des galvanischen Stromes zu den Wirkungen desselben übergehen, theilen wir dieselben in vier Haupt-

gruppen. Wir unterscheiden nehmlich physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen des Stromes und behandeln zuerst

Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes.

a) die physiologischen, so wie wir ja auch denselben die erste Entdeckung dieser Art der Electricitätserregung durch Galvani verdanken. Unter den besonders leicht zu beobachtenden Einwirkungen des galvanischen Stromes auf unsere eigenen Sinne führen wir Folgende an:

Wenn man einen silbernen Löffel mit dem Zahnfleisch oder den Lippen und einen zinnernen Löffel oder noch besser einen Streifen Zink mit der oberen Fläche der Zunge gegen die Spitze hin und beide Metalle mit einander in Berührung bringt, so empfindet man einen säuerlichen Geschmack; kehrt man die Anordnung der Metalle um, so entsteht ein eigenthümlicher Geschmack, welcher gewöhnlich als laugenartig bezeichnet wird. Bringt man das eine Metall mit dem Augapfel und das andere mit den Lippen oder der Zunge in Berührung, so nimmt man in dem Augenblicke, in welchem die Metalle mit einander in Berührung gebracht werden, also die Kette geschlossen wird, einen Lichtstrahl wahr; derselbe erscheint abermals beim Oeffnen der Kette.

Die nehmlichen Erscheinungen, aber in verstärktem Maaße, rufen die Polplatten einer aus 5 oder 10 Elementen bestehenden galvanischen Batterie hervor; — bei einer aus zahlreichen Elementen zusammengesetzten Kette würden die Wirkungen allzu heftig sein. — Faßt man bei einer solchen die an den Polplatten befestigten Dräthe mit den angefeuchteten Händen an, so empfindet man eine Erschütterung. Bleibt man mit den Poldräthen in fester Berührung, so hört die Empfindung fast gänzlich auf, und man hat nur an etwa verwundeten Stellen der Haut ein stechendes Gefühl. Die Erschütterung aber kehrt wieder, wenn die Kette geöffnet wird. Faßt man den einen Poldrath mit der angefeuchteten Hand an, und bringt man den anderen mit der angefeuchteten Stirn oder Wange in Berührung, so bemerkt man einen starken Lichtschein.

Als die zweite Gruppe der durch den galvanischen Strom hervorgerufenen Wirkungen führen wir an

Thermische Wirkungen des galvanischen Stromes.

b) die Erregung von Licht und Wärme.

Wenn man die Poldräthe einer wirksamen Kette mit einander in Berührung bringt, so bemerkt man einen mehr oder weniger lebhaften Funken. Derselbe erscheint wieder beim Oeffnen der Kette. Läßt man den electrischen Strom zwischen zwei Kohlenspitzen übergehen, welche man einander bis auf einen kleinen Abstand genähert hat, so zeigt sich bei einer kräftigen Batterie ein äußerst glänzendes Licht, welches an Intensität das Drummond'sche Kalklicht noch übertrifft. Man hat dieses höchst intensive Licht zuerst in Paris während nächtlicher Bauten zur Beleuchtung der Straßen benutzt. Der allgemeinen Anwendung desselben steht jedoch außer der Kostspieligkeit noch der Umstand entgegen, daß die Kohlenspitzen sich allmählig verzehren, und es daher, wenn das Licht eine längere Zeit anhalten soll, einer fortwährenden Regulirung bedarf. Mit Vortheil kann dasselbe dagegen benutzt werden, das Drummond'sche Kalklicht bei dem Knallgasmikroscope (S. 126) zu ersetzen.

Wenn man einen starken electrischen Strom durch einen dünnen Drath leitet, so erhitzt sich derselbe bis zum Glühen oder Schmelzen. Man macht hiervon sehr nützlichen Gebrauch, um Pulverminen zu entzünden. Man bringt nehmlich in die zu entzündende Patrone einen dünnen Drath und verbindet die Enden desselben durch zwei stärkere Dräthe mit den Polen einer galvanischen Batterie. So wie die Kette geschlossen wird, erglüht der feine Drath

und entzündet die Pulverladung. Man kann so die Entzündung ohne alle Gefahr aus weiter Ferne bewerkstelligen. Ferner lassen sich auf diese Art Felsen unter Wasser sprengen, indem man die nach der Pulvermine führenden Dräthe mit einem isolirenden Gutta-Percha-Ueberzuge versieht. Weiter gewährt die Entzündung durch den galvanischen Strom beim Sprengen größerer Felsenmassen den Vortheil, daß sich die Pulverladungen mehrerer Bohrlöcher gleichzeitig entzünden lassen, wodurch offenbar auf die ganze Masse eine viel kräftigere Wirkung ausgeübt wird, als wenn diese Entzündungen in Zwischenräumen erfolgen.

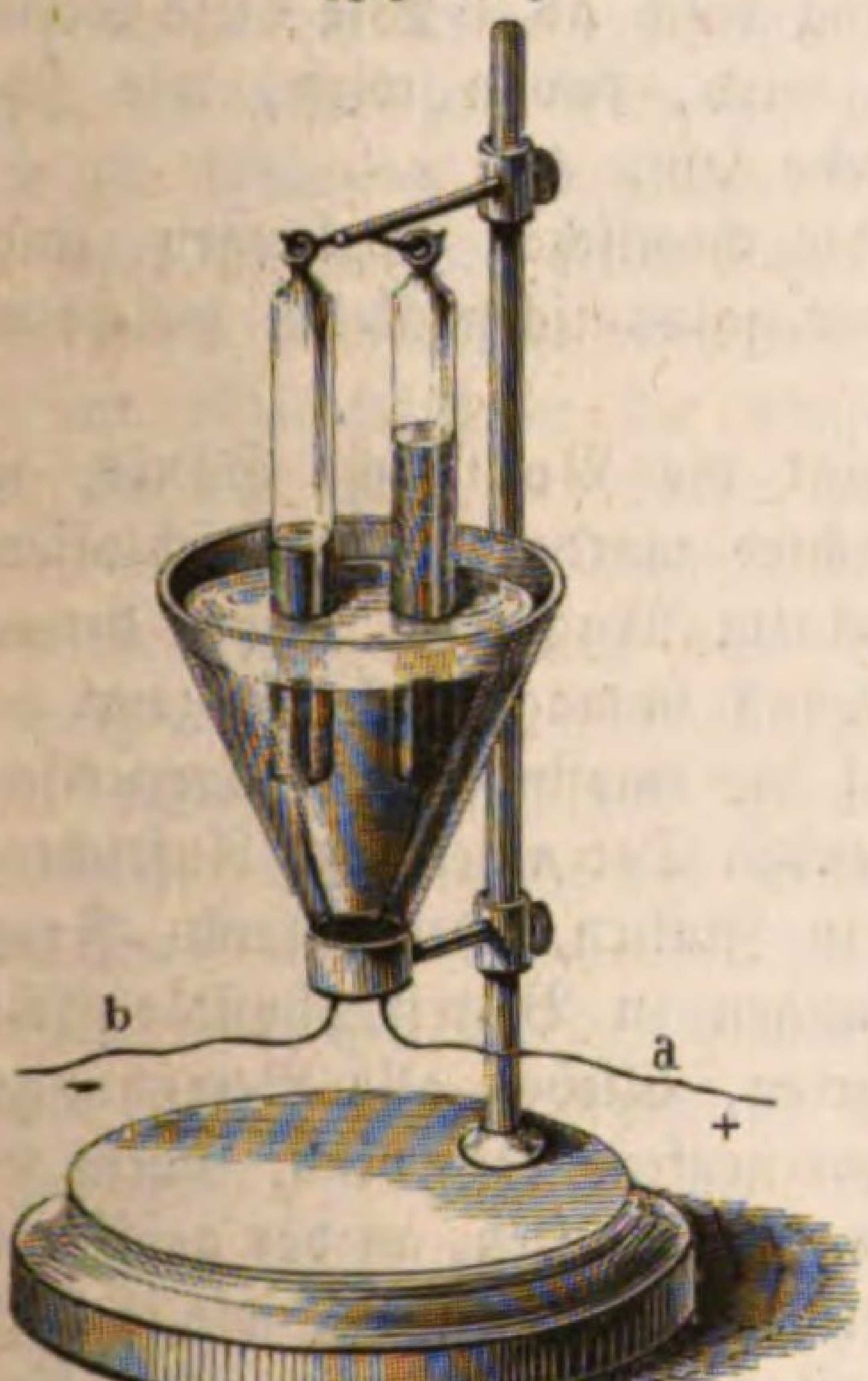
Eben so wie das stärkste Licht lassen sich durch den electrischen Strom auch die höchsten Grade künstlicher Hitze erzeugen. Durch die Combination zweier sehr kräftiger Batterieen, von denen die eine aus 600 Zinkkohlenelementen bestand, ist es Despretz in Frankreich vor einigen Jahren gelungen, selbst Kohle zu schmelzen und zu verflüchtigen.

Eine noch weit größere Wichtigkeit als die Erregung von Licht und Wärme durch den galvanischen Strom besitzen

c) die chemischen Wirkungen desselben. Wir stellen hier oben an die Zerlegung des Wassers in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff. Die Chemie vermag zwar aus dem Wasser Sauerstoff oder Wasserstoff auszuscheiden. Der galvanische Strom aber bietet das alleinige Mittel bar, beide Bestandtheile zugleich zu erhalten. Zu diesem Zwecke füllt man ein gläsernes Gefäß, durch dessen Boden zwei Platindräthe a und b, Fig. 182, hindurchgeführt sind, mit Wasser und stellt über dieselben zwei bis oben an ebenfalls mit Wasser gefüllte Gläschen. Verbindet man nun die beiden Dräthe a und b mit den Polen einer galvanischen Batterie, so entwickelt sich am positiven Pole ein Gasstrom von Sauerstoff, am negativen Pole von Wasserstoff, und man erhält dem Maaße nach genau doppelt so viel Wasserstoff, als Sauerstoff.

Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

(Fig. 182.)



So wie das Wasser, so lassen sich auch andere Körper durch die Volta'sche Säule in ihre Bestandtheile zerlegen. Mit Hilfe derselben kann man zeigen, wie zuerst Davy 1807 entdeckt hat, daß die Alkalien und Erden oxydirte (verbrannte) Metalle sind. Wenn hiernach die ganze äußere Rinde der Erdkugel ihrer Hauptmasse nach aus verrosteten, d. h. mit Sauerstoff verbundenen Metallen (oder Metalloiden) zusammengesetzt ist, so erscheint es als nicht unwahrscheinlich, daß der innere Kern derselben aus reinen gediegenen Metallen besteht, wofür auch das schon oben (S. 64) angeführte große specifische Gewicht der Erdkugel spricht. Wir würden hiernach die ganze Erde als einen Metallklumpen anzusehen haben, welcher sich an seiner mit Luft und Wasser in Berührung stehenden Oberfläche mit einer Rost- oder Oxydschicht bedeckt hat; aber eben diese Rostschicht macht es möglich, daß die metallische Erde sich mit Pflanzenwuchs bekleiden und zum Wohnplatz für beseelte Wesen dienen kann.

Wir übergehen die anderweitigen eben so merkwürdigen, als nützlichen chemischen Wirkungen der galvanischen Kette, da von denselben zweckmäßiger in Verbindung mit der Galvanoplastik gehandelt wird, welche unseren Lesern in einem besonderen Abschnitte vorgeführt werden soll. Ueber die in der Batterie selbst vorgehenden chemischen Prozesse bemerken wir jedoch noch Folgendes:

Wenn in dem oben beschriebenen Versuche über die Zerlegung des Wassers die Poldräthe der Batterie nicht aus Platin, sondern aus einem unedlen Metalle, wie Eisen oder Kupfer, bestehen, so wird von den beiden Bestandtheilen des Wassers nur der eine, der Wasserstoff, wirklich entbunden; der andere dagegen, der Sauerstoff, verbindet sich mit dem unedlen Metalle zu Oxyd. Der nehmliche chemische Prozeß findet auch in jeder einzelnen Zelle der Batterie statt. In jeder wird Wasser zersetzt; der Wasserstoff wird frei, und der Sauerstoff verbindet sich mit dem Zink zu Zinkoxyd, welches von der Säure aufgelöst wird. Indem der in Gasform ausgeschiedene Wasserstoff von dem electronegativen Metalle, Kupfer, Platin oder Kohle, angezogen wird, bedeckt sich dieses mit einer dünnen Schicht von Wasserstoffgas, wodurch die unmittelbare Berührung dieses Metalles mit der Flüssigkeit gestört und der Strom beträchtlich geschwächt wird. Die Wirkungen der galvanischen Ketten, deren Zellen nur mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, sind daher unmittelbar nach der Zusammensetzung am kräftigsten; sie nehmen dagegen bei eintretender und fortschreitender Gasentwicklung rasch ab. Wie diese Schwächung bei den constanten Ketten vermieden wird, davon wird, wie schon bemerkt, in einem späteren Abschnitte die Rede sein.

Von nicht geringerer Wichtigkeit, als die chemischen Wirkungen, sind

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.

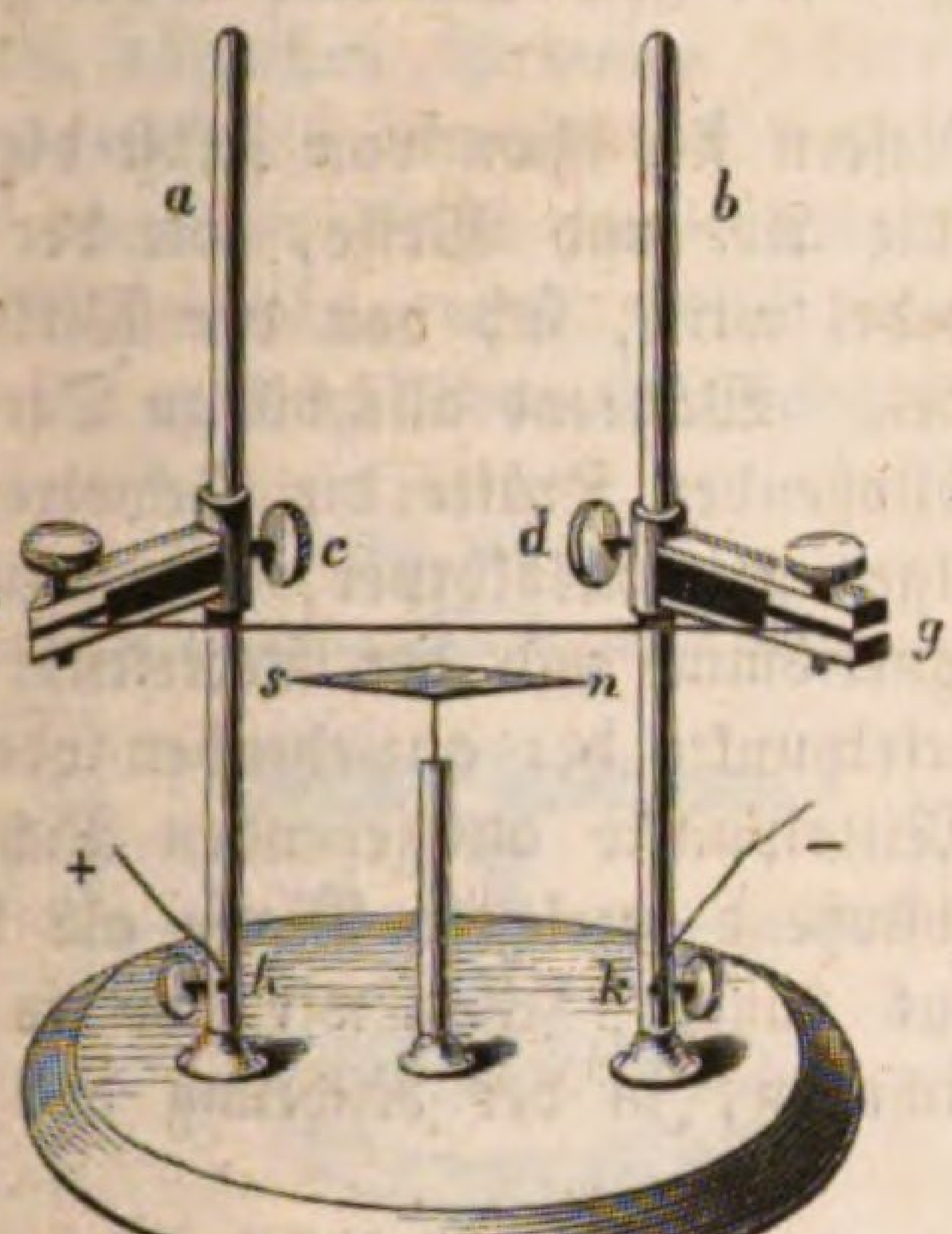
d) die magnetischen Wirkungen der galvanischen Kette, welche wir nun noch unseren Lesern vorführen wollen.

Wie wir schon oben gesehen haben, zeigt die Volta'sche Säule, wie sie zuerst von ihrem Erfinder 1799 aufgerichtet wurde, im ungeschlossenen Zustande die auffallendste Aehnlichkeit mit einem Magneten. Aber dennoch verhält sich dieselbe in diesem Zustande durchaus unmagnetisch; sie zeigt auch nicht die geringste Spur von Einwirkung auf die empfindlichsten magnetischen Apparate. Während in den beiden nächstfolgenden Decennien nach Aufrichtung der Säule die Untersuchungen der Physiker in Italien, Deutschland, Frankreich und England zu den reichsten Entdeckungen in Betreff physiologischer, thermischer und chemischer Erscheinungen führten, blieben alle Bemühungen, magnetische Wirkungen durch die Säule hervorzurufen, vergeblich, indem dieselben nicht, wie die angeführte Aehnlichkeit vermuthen ließ, an der geöffneten, sondern an der geschlossenen Kette oder Batterie hervortreten. Diese so höchst folgenreiche Entdeckung wurde zuerst von Oersted in Kopenhagen gegen Ende des Jahres 1819 gemacht und im Jahre 1820 veröffentlicht. — Wir können jedoch nicht unbemerkt lassen, daß Oersted zu seiner Entdeckung fast zufällig gekommen ist, sowie dieselbe auch nicht durch ihn, sondern durch andere Physiker, ins Besondere durch Ampère in Frankreich und Faraday in England ausgebeutet und weiter geführt worden ist.

Der Oersted'sche Fundamentalversuch.

Um die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel zu zeigen, reicht schon ein einziges galvanisches Element, eine in ein mit verdünnter Säure gefülltes Gefäß eingetauchte Zink- und Kupferplatte aus. Bringt man in die Nähe des Schließungsdrathes einer solchen Kette eine Magnetnadel, so erleidet dieselbe eine Ablenkung in einer Richtung, welche zur Richtung des Stromes senkrecht ist. Um dieses bequemer zeigen zu können,

(Fig. 183.)



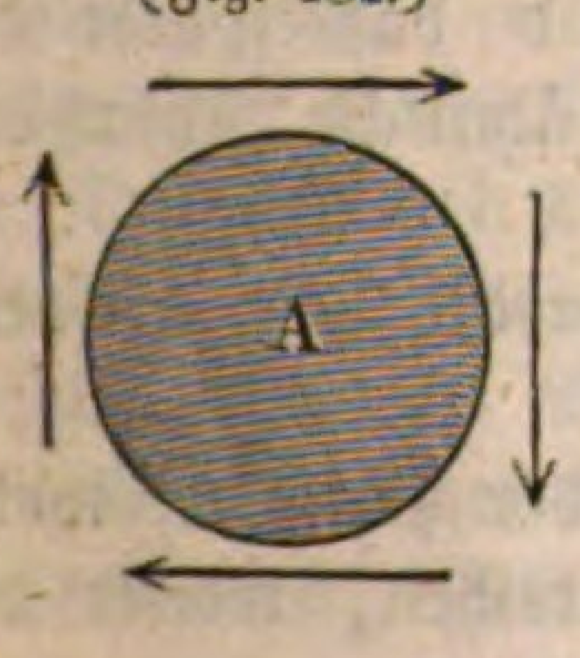
ist es zweckmäßig, dem Schließungsdrathe eine feste Lage zu geben. Hierzu eignet sich der Fig. 183 abgebildete Apparat. Auf einem Brettchen sind zwei Messingstäbe a und b aufgerichtet, an welchen sich die Klemmen f und g, zwischen denen ein Drath ausgespannt ist, vermittelst der Schrauben c und d höher und niedriger stellen lassen. Zwei am unteren Ende der Messingstäbe a und b angebrachte Klemmschrauben dienen, um an denselben die Poldräthe der galvanischen Kette zu befestigen.

Wird die Kette geschlossen und befindet sich der von dem electrischen Strome durchlaufene Drath fg oberhalb der Magnetnadel sn, so wird das Nordende, wenn der positive Strom in der Richtung von f nach g, also von Süden nach Norden geht, nach Westen, das Südende nach Osten abgelenkt. Diese Ablenkung tritt ein in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird; bleibt die Kette geschlossen, so kommt die Nadel nach einigen Schwankungen in einer zur Richtung des Stromes schiefen Richtung zur Ruhe. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, was leicht geschehen kann, indem man die an den Klemmschrauben h und k befestigten Dräthe vertauscht, so wird die Nadel jetzt nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. Eben so geht die Ablenkung in die umgekehrte über, wenn man den Strom nicht über, sondern unter der Nadel herführt. Läßt man den Strom in gleicher Höhe mit der Nadel seitwärts neben derselben hergehen, so senkt sich das Nordende, und hebt sich das Südende, wenn der positive Strom in der Richtung von Süden nach Norden an der Westseite der Nadel hergeführt wird. Diese Ablenkungen gehen ebenfalls in die entgegengesetzten über, wenn man die Richtung des Stromes umkehrt oder den Strom an der anderen Seite neben der Nadel herleitet.

Die hier für die verschiedenen Fälle angegebenen Ablenkungen lassen sich bequem nach der von Ampère angegebenen Regel überblicken: Man denke sich selbst in die Richtung des Stromes, so daß der positive Strom von den Füßen zum Kopfe geht, und das Gesicht nach der Nadel hingewendet ist; dann erfolgt die Ablenkung des Nordendes allemal nach der linken (des Südendes nach der rechten) Hand hin.

Diese Regel bleibt auch dann noch richtig, wenn der Strom nicht in wagerechter Richtung, sondern in senkrechter Richtung neben dem einen Ende der Nadel vorbeigeführt wird.

(Fig. 184.)



Zur Veranschaulichung der Ampère'schen Regel kann auch noch Fig. 184 dienen: Es sei A der vergrößerte Durchschnitt eines Drathes, welcher von dem positiven Strome in der Richtung von der vorderen nach der hinteren Seite des Papiers durchlaufen wird, dann geben die beigesetzten Pfeile die Richtungen an, in welchen das Nordende der Nadel abgelenkt wird, wenn sich dieselbe über, unter, rechts oder links von dem

15*

Drathe befindet, während diese Ablenkungen für das Südende in der gerade entgegengesetzten Richtung erfolgen.

Wir dürfen annehmen, daß unseren Lesern sich schon von selbst die Bemerkung aufgedrängt haben wird, daß die Art und Weise, wie der electrische Strom auf die Pole der Magnetnadel wirkt, sich von der Wirkungsweise aller anderen Naturkräfte unterscheidet. Während alle bis zu Oersted's Entdeckung bekannten anziehenden oder abstoßenden Kräfte die Schwere, die anziehende Kraft der Sonne und der übrigen Himmelskörper, die anziehend oder abstoßend wirkenden Kräfte des Magnetismus und der Electricität allemal ihre Wirkung in einer nach dem Mittelpunkte der anziehenden oder abstoßenden Masse hin oder von diesem Mittelpunkte ausgehenden Richtung, also wenn wir uns die anziehend oder abstoßend wirkende Masse als kugelförmig denken, in der Richtung des Radius äußern, sehen wir hier die Wirkung in einer zum Radius senkrechten Richtung, in der Richtung der Tangente erfolgen.

Electromagnetische Rotation. Widmen wir der Fig. 184 noch einige aufmerksame Blicke, so werden wir leicht zu der Ansicht geführt werden, daß von dem Drath, dessen vergrößerten Querdurchschnitt A vorstellt, das Bestreben ausgeht, den Nordpol im Kreise in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen (und folglich den Südpol in der entgegengesetzten Richtung), um sich herumzuführen. Die Richtigkeit dieser Ansicht durch einen wirklich ausgeführten Versuch zu bestätigen, ist zuerst dem Scharfsinne Faraday's gelungen. Fig. 185 stellt den von demselben zu diesem Zwecke angegebenen Apparat dar. Ein gläsernes Gefäß ist oben mit einem metallenen Rande umgeben und bis an denselben mit Quecksilber gefüllt. In dem Quecksilber schwimmt ein kleiner Magnetstab, welcher an seinem unteren Ende mit einem Platingewicht beschwert ist, damit er in dem Quecksilber in aufrechter Lage mit Stabilität schwimmt. In die Mitte des Quecksilbers taucht ein metallener Stift, welcher mit dem einen Pole einer galvanischen Batterie verbunden wird, während der metallene Ring mit dem anderen Pole in Verbindung steht. So wie die Kette geschlossen wird, beginnt der Magnetstab sich im Kreise um den durch den metallenen Stift in das Quecksilber eintretenden Strom, welcher nur auf den am oberen Ende des Stabes liegenden Pol einwirkt, in der Richtung, wie dieß die Ampère'sche Regel angiebt, zu bewegen, und er setzt diese Umkreisung so lange fort, als die Kette geschlossen bleibt. Kehrt man die Richtung des Stromes um, so umkreist der Magnetstab den metallenen Stift in der entgegengesetzten Richtung.

(Fig. 185.)



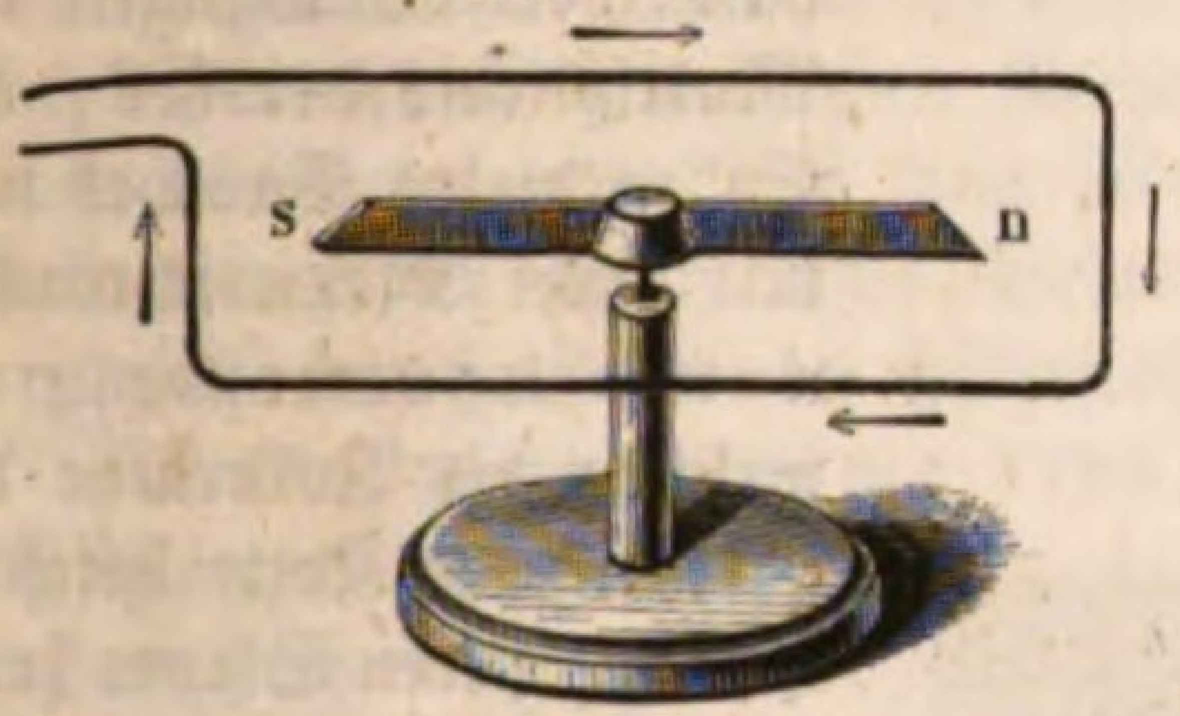
Wir müssen jedoch bemerken, daß es zur Anstellung dieses Versuches eines sehr kräftigen Stromes bedarf, da das Quecksilber der Bewegung des Magnetstabes einen großen Widerstand entgegensetzt, und daß später noch andere Apparate erfunden worden sind, bei welchen sich ähnliche Rotationen auch durch schwächere Ströme bewerkstelligen lassen.

Wir übergehen jedoch die Beschreibung dieser Apparate, da dieselben keine anderweitige Anwendung finden.

Der Multiplicator. Ehe wir unseren Lesern die wichtigen Entdeckungen der Physiker, welche sich in rascher Folge an Oersted's erste Entdeckung anreihen, weiter vor-

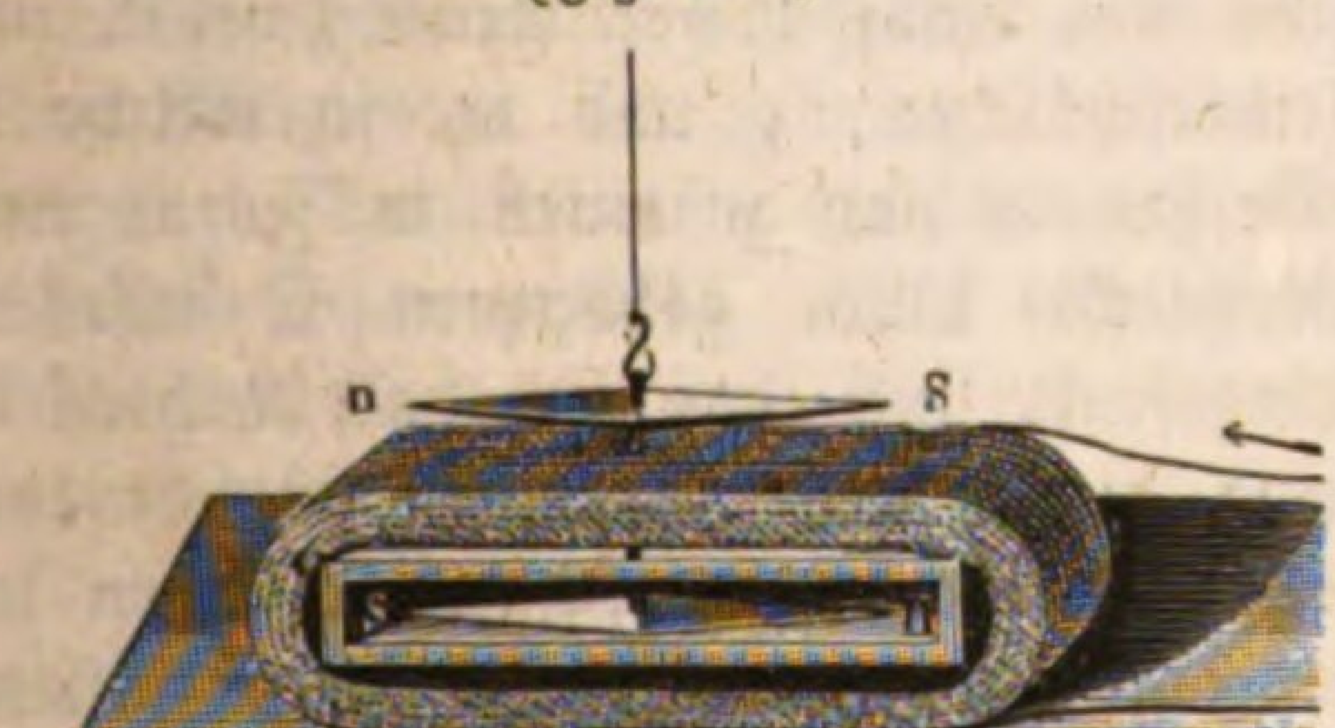
führen, haben wir dieselben noch mit einem für die electrischen Apparate äußerst nützlichen Principe bekannt zu machen. Wie schon oben bemerkt, genügt auch ein schwacher Strom, um die Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer normalen Lage hervorzubringen. Die Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel wird jedoch noch verstärkt, wenn man denselben in einer oder in wiederholten Windungen um die Magnetnadel herumführt. Ist z. B. die Magnetnadel sn, Fig. 186, von einem in Form eines Rechtecks gebogenen Drathe umgeben, und wird durch diesen Drath in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen, ein electrischer Strom geführt, so ergiebt sich leicht aus der Ampère'schen Regel, daß sowohl die wagerechten, als auch die senkrechten Theile dieses Stromes die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben. Die Wirkung wird noch vermehrt werden, wenn der Drath mehrere Umläufe um die Nadel macht.

(Fig. 186.)



Ein Apparat, welcher den Namen Multiplicator führt, und bei welchem ein der Isolirung wegen mit Seide übersponnener Drath in dicht neben einander herlaufenden Windungen um eine empfindliche Magnetnadel herumgeführt ist, muß sich daher ganz besonders dazu eignen, sehr schwache electrische Ströme nachzuweisen. Die Empfindlichkeit dieses Apparates, welcher wegen des angegebenen Zweckes auch Galvanometer genannt wird, wird noch erhöht, wenn man zwei Magnetnadeln von nahe gleicher Stärke so mit einander fest verbindet, daß ihre Pole eine entgegengesetzte Lage haben und dann um die eine derselben die Windung des Multiplicatordrathes herumleitet, wie dieses Fig. 187 zeigt. Da auf die so verbundenen Nadeln der Erdmagnetismus im gerade entgegengesetzten Sinne wirkt, so heben sich diese Wirkungen, wenn in beiden Nadeln der Magnetismus eine gleiche Stärke hat, gegenseitig auf, so daß, wenn durch den Multiplicatordrath ein Strom geführt wird, nur die Einwirkung des Stromes übrig bleibt.

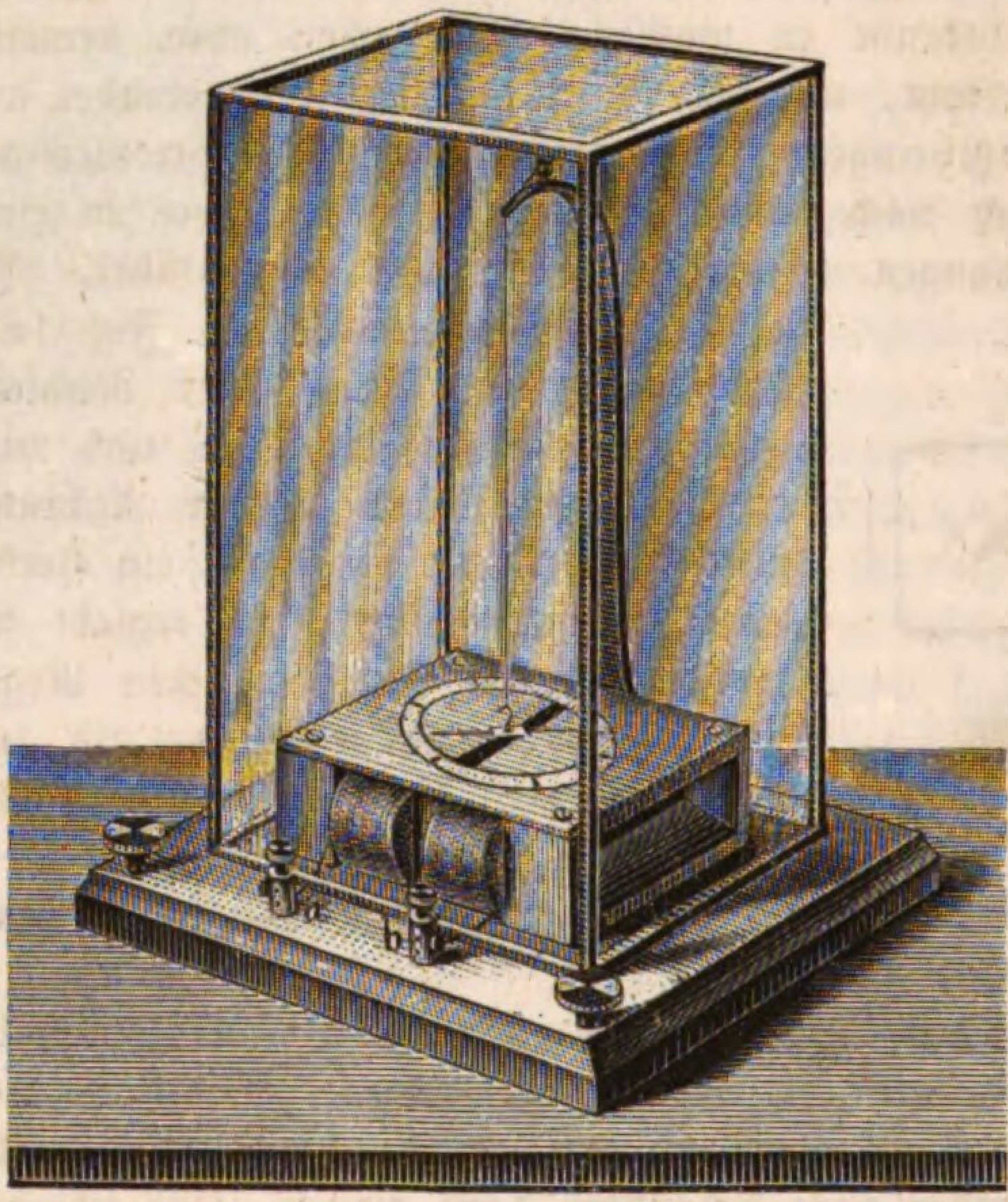
(Fig. 187.)



Auf eine einfache in der Nähe eines electrischen Stromes befindliche Magnetnadel sn, Fig. 183, wirken zugleich der Erdmagnetismus, welcher dieselbe in die Richtung von Norden nach Süden zu führen strebt, und der electrische Strom, welcher die Nadel senkrecht auf seine eigene Richtung stellen will; die Nadel kommt daher in einer schiefen, zwischen die Richtungen dieser beiden Kräfte fallenden Lage zur Ruhe. Da die Stellung der Doppelnadel dagegen nur durch die Einwirkung des electrischen Stromes bestimmt wird, der Erdmagnetismus hierauf keinen Einfluß äußert, so nimmt dieselbe eine zur Richtung des Stromes senkrechte Lage an.

Einen besonders empfindlichen Apparat, um ganz schwache Ströme nachzuweisen, stellt Fig. 188 dar. Die beiden fest verbundenen Magnet-

(Fig. 188.)

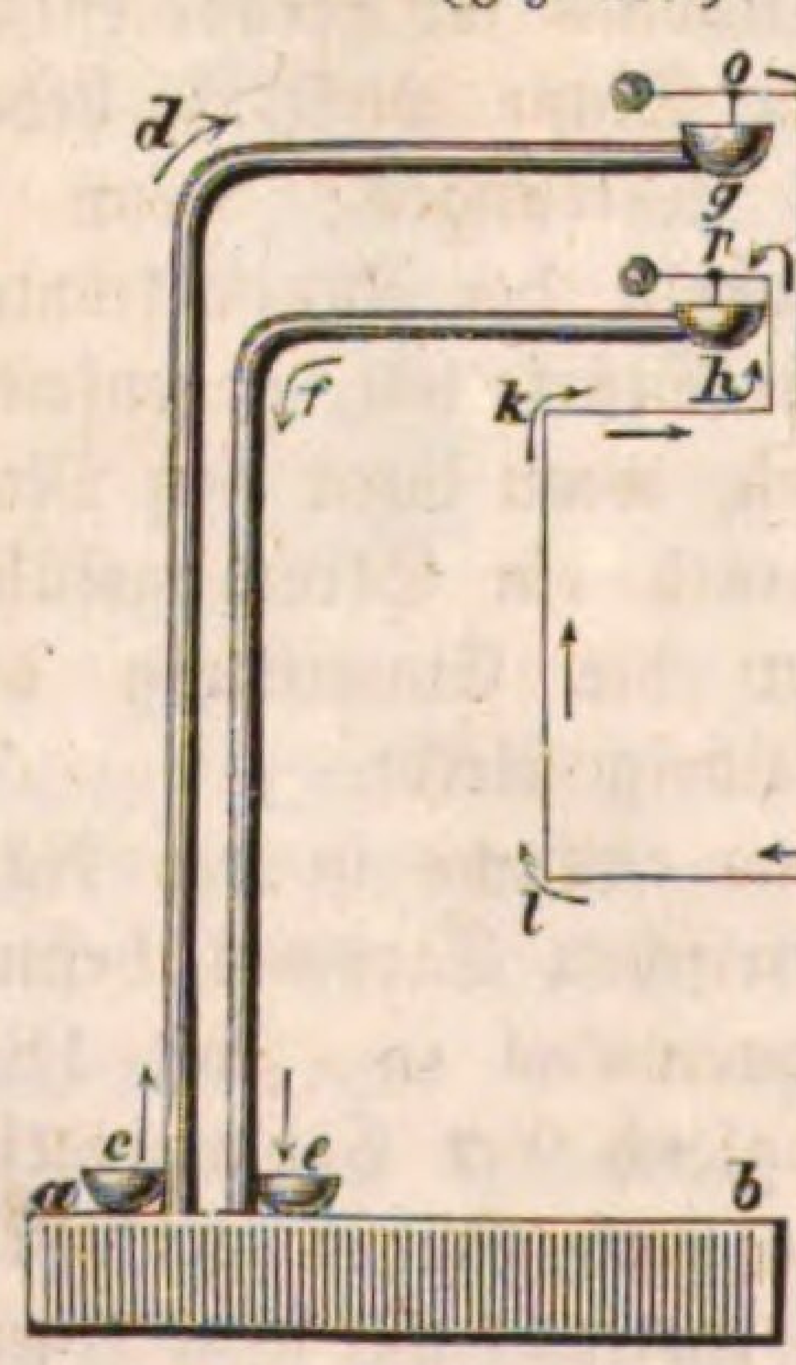


nadeln mit entgegengesetzt liegenden Polen sind an einem einfachen Coconfaden aufgehängt; die obere derselben spielt über einem eingetheilten Kreise, die untere befindet sich innerhalb der Windungen des Multiplicatordrathes; die Enden dieses Drathes sind mit zwei Klemmschrauben a und b verbunden, an welchen die Poldräthe der galvanischen Kette befestigt werden, deren Strom durch den Multiplicatordrath hindurch geführt werden soll. Die Wissenschaft verdankt diesem äußerst empfindlichen Apparate die wichtigsten Entdeckungen, von denen wir weiterhin einige anführen werden.

Erscheinungen an beweglichen Strömen.

So wie ein fester Strom bewegend auf einen beweglichen Magneten einwirkt, so ist schon von selbst einleuchtend, daß auch umgekehrt ein fester Magnetpol bewegend auf einen beweglichen Strom wirken muß. Um dieses zu zeigen, kann der folgende Apparat dienen: Zwei auf einem Brettchen ab, Fig. 189, befestigte und in wagerechte Arme auslaufende metallene Stäbe tragen am Ende dieser Arme zwei Quecksilberschälchen, g und h, in welche die Spitzen o und p eines in Form eines Rechtecks klmn gebogenen Drathes so eingesenkt sind, daß sich das Rechteck um eine durch diese Spitzen gehende lothrechte Linie drehen kann. Werden nun in die am unteren Ende der metallenen Stäbe angebrachten Quecksilberschälchen die Poldräthe einer galvanischen Batterie eingesenkt, z. B. bei c der positive, bei e der negative Poldrath, so steigt der positive Strom zunächst in dem Stabe cdg empor, durchläuft dann das Rechteck in der Richtung nmlk und geht in dem Stabe hfe abwärts. Nähert man dann einer der Seiten des beweglichen Rechtecks den einen Pol eines Magneten, so erfährt das Rechteck eine Ablenkung in der entgegengesetzten Richtung, in welcher nach der oben angeführten Ampère'schen Regel der feste Strom auf den beweglichen Magneten wirkt.

(Fig. 189.)



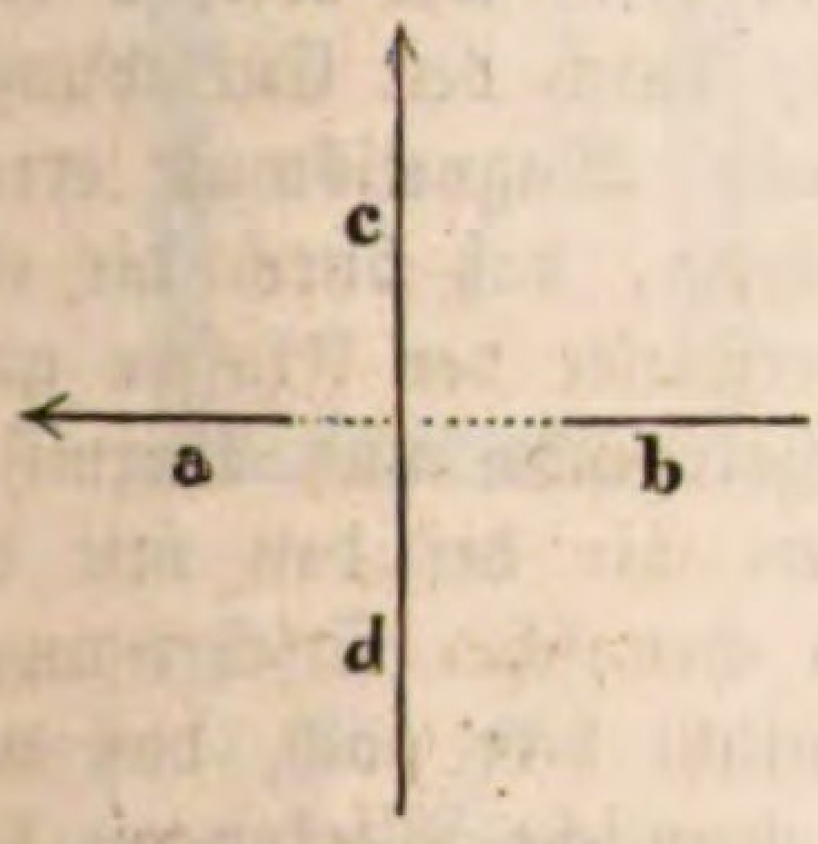
Weiter führen wir noch kurz an, daß durch den Scharfsinn der Physiker auch Apparate erdacht worden sind, bei denen ein beweglicher Drath,

durch welchen ein electrischer Strom geht, sich um einen festen Magnetpol im Kreise bewegt, und daß selbst durch den Erdmagnetismus eine rotirende Bewegung eines beweglichen Stromes hervorgebracht werden kann.

Das Vorhergehende betraf zunächst die Einwirkung, welche ein Magnetstab und ein electrischer Strom auf einander hervorbringen. Es reiht sich hieran die Frage nach dem Einflusse, welchen zwei einander genäherte Ströme auf einander ausüben. Um diesen nachzuweisen kann ebenfalls der in Fig. 189 abgebildete Apparat dienen. Man hat nehmlich nur nöthig, neben einer Seite des beweglichen Rechtecks einen festen Drath auszuspannen und durch diesen, sowie durch das Rechteck, einen electrischen Strom zu führen. Man wird sich dann ohne Schwierigkeit von der Richtigkeit der folgenden, vorzüglich durch Ampère festgestellten Gesetze überzeugen können:

Wenn zwei Ströme einander parallel laufen, so ziehen sie sich gegenseitig an, wenn sie eine gleiche Richtung haben; sie stoßen sich dagegen ab, wenn sie entgegengesetzte Richtung haben.

(Fig. 190.)



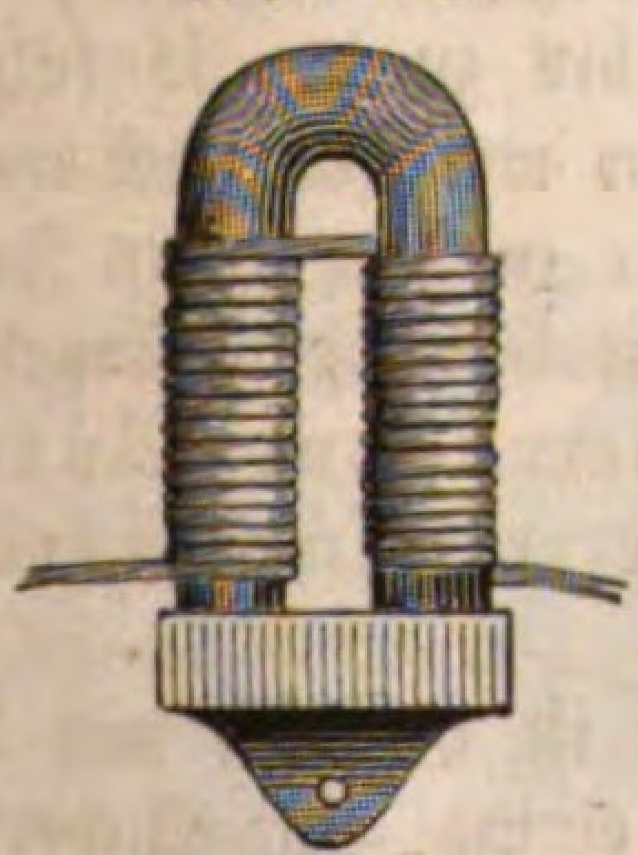
Wenn zwei Ströme ab und cd, Fig. 190, sich kreuzen, so findet Anziehung statt zwischen den Theilen b und d, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und ferner zwischen den Theilen a und c, welche von der Kreuzungsstelle fortgehen; Abstoßung dagegen findet statt zwischen einem Theile, welcher zum Kreuzungspunkte hin-, und einem solchen, welcher vom Kreuzungspunkte weggeht, also zwischen den Theilen a und d und zwischen den Theilen b und c.

Zwei sich kreuzende Ströme streben daher, indem a und c, ferner b und d sich anziehen, und a und d, ferner b und c sich abstoßen, sich so zu stellen, daß sie einander parallel laufen und gleiche Richtung haben.

Wir haben im Obigen die Wirkung, welche der elektrische Strom auf einen Magneten hervorbringt, kennen gelernt. Wir haben nun noch die Frage zu beantworten, welchen Einfluß ein electrischer Strom auf unmagnetisches Eisen ausübt. Wie wir oben gesehen haben, stellt ein Strom eine Magnetnadel, wenn dieselbe nur dem Einflusse des Stromes unterworfen ist, in eine zur Richtung des Stromes senkrechte Lage. Ein Strom wird daher auf einen Stahl- oder Eisenstab am kräftigsten dann einwirken, wenn er eine zur Axe des Stabes senkrechte Richtung hat. Führt man einen Strom in dieser Richtung neben einem unmagnetischen Stahl- oder Eisenstabe vorbei, so verwandelt sich dieser unter dem Einflusse des Stromes in einen Magneten, dessen Pole so liegen, wie dieß die mehr erwähnte Ampère'sche Regel vorschreibt. Der erregte Magnetismus zeigt sich bei Weitem stärker, wenn man weiches, als wenn man hartes Eisen oder Stahl anwendet. Die größte Verstärkung gewinnt man jedoch durch Benutzung des Prinzips des Multiplicators, indem man den mit Seide umsponnenen Drath in zahlreichen Windungen um das zu magnetisirende Eisen in der Art, wie dieß Fig. 191 zeigt, herumleitet. Man vermag so aus weichem Eisen Magnete herzustellen, welche viele Centner

Der Electromagnet.

(Fig. 191.)



tragen und die gewöhnlichen Stahlmagnete an Tragkraft weit übertreffen. Aber der auf diese Art im weichen Eisen hervorgerufene Magnetismus ist nicht von Dauer; er verschwindet wieder, wenn nicht ganz, doch größtentheils, beim Aufhören des Stromes.

Trotz der großen Stärke dieser Electromagnete haben dieselben bis jetzt zur Bewegung von Maschinen noch keine praktische Anwendung gefunden; sie haben die Dampfkraft nicht zu ersetzen oder zu verdrängen vermocht, weil bei gleicher Leistung einer electromagnetischen und einer Dampfmaschine sich die Kosten für die Erregung des galvanischen Stromes beträchtlich höher, als für die Erzeugung der erforderlichen Dämpfe stellen. Abgesehen hiervon würde die Ausführung electromagnetischer Maschinen keine Schwierigkeiten darbieten; man findet dergleichen vielmehr häufig in physikalischen Cabineten. Wir übergehen jedoch die Beschreibung derselben, da sie keinen praktischen Nutzen gewähren. Von der Anwendung, welche der Electromagnetismus in der Telegraphie findet, wird in einem besonderen Abschnitt gehandelt werden.

Unsere Leser erinnern sich ohne Zweifel noch des oben (S. 212) beschriebenen Versuches, bei welchem in ganz ähnlicher Art, wie wir so eben für den galvanischen Strom kennen gelernt haben, durch den Entladungsschlag einer electrischen Flasche in einem Eisenstabe Magnetismus erregt wird. Auch ist unseren Lesern gewiß noch gegenwärtig, daß durch die einfache Electricität der Electrisirmaschine oder die verstärkte der Flasche ganz eben so wie durch den galvanischen Strom physiologische und thermische Wirkungen hervorgebracht werden. Dagegen haben wir bei den mit der Maschine oder der Flasche anzustellenden Versuchen chemischer Erscheinungen keine Erwähnung gethan. Wir holen in dieser Hinsicht hier nach, daß auch durch die Electricität der Maschine sich schwache chemische Wirkungen hervorrufen lassen. Taucht man z. B. zwei Platindräthe in ein Gefäß mit Wasser und bringt den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor einer Electrisirmaschine in Verbindung, so findet, wenn man die Maschine in Thätigkeit setzt, eine Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, statt. Die entbundenen Gase treten jedoch in äußerst geringer Menge auf, und sind kaum wahrzunehmen, indem die höchst unbedeutenden Gasmengen sofort von der Masse des Wassers, in welches die Platindräthe eingetaucht sind, absorbirt werden. Man pflegt daher, um dieses zu verhindern, die Dräthe in feine Thermometerröhren einzuschließen. Wegen der geringeren Wichtigkeit, welche die chemischen Wirkungen der Maschinenelectricität überhaupt besitzen, haben wir dieselben oben ganz übergangen und die Erwähnung derselben bis zu dieser Stelle verschoben.

Nachdem wir im Vorhergehenden unsern Lesern die hauptsächlichsten physiologischen, chemischen, thermischen und magnetischen Wirkungen, welche durch den electrischen Strom hervorgerufen werden, vorgeführt haben, von der ersten Entdeckung G a l v a n i's im Jahre 1786 bis zu der so folgenreichen Beobachtung O e r s t e d's im Jahre 1820, haben wir nun noch weiter darüber zu berichten, wie die Entdeckungen der Physiker in den letzten Jahrzehnden zur Umkehrung dieser sämmtlichen Sätze, nehmlich zu dem Ergebniß geführt haben, daß auch umgekehrt d u r c h M a g n e t i s m u s u n d W ä r m e, d u r c h c h e m i s c h e u n d p h y s i o l o g i s c h e P r o z e s s e e l e c t r i s c h e S t r ö m e e r z e u g t w e r d e n k ö n n e n.

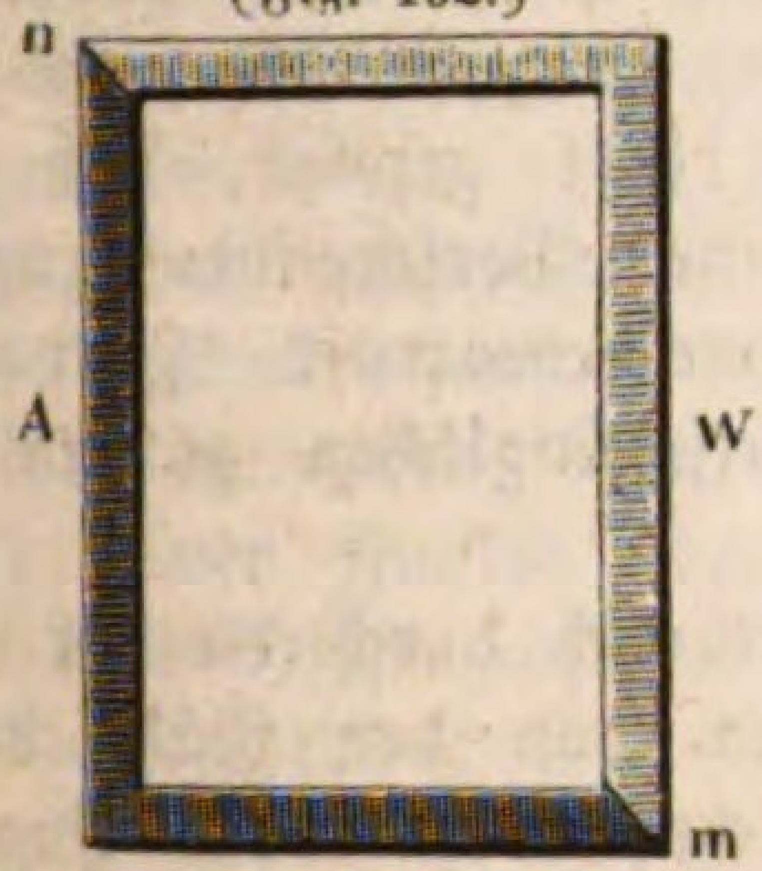
Was zunächst den chemischen Prozeß anlangt, so ist derselbe mit dem electrischen Strome so innig verbunden, daß sich nicht einmal mit Sicherheit

entscheiden läßt, vielmehr die Ansichten der Physiker darüber getheilt sind, ob in der galvanischen Kette die in Bewegung gesetzte Electricität oder der chemische Prozeß, Zerlegung des Wassers und Vereinigung des oxydirten Zinks mit den vorhandenen Säuren, als bedingende Ursache, und ob das Eine oder das Andere als erzeugte Wirkung anzusehen ist.

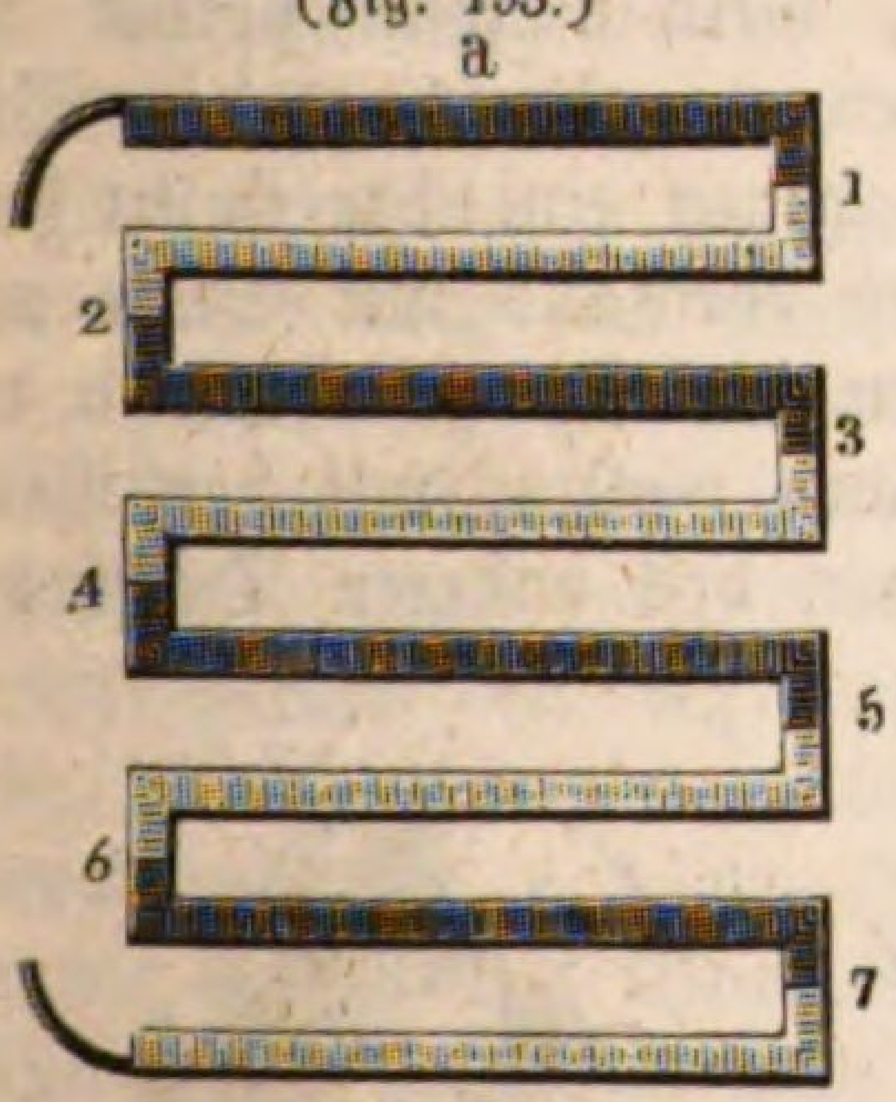
Thermomagnetismus.

Daß aber auch ohne chemischen Prozeß durch bloße Erwärmung electrische Ströme hervorgerufen werden können, ist bald, nachdem Oersted die Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel kennen gelehrt hatte, mit Benutzung dieser Entdeckung im Jahre 1821 durch Seebeck in Berlin aufgefunden worden. — Es läßt sich dieses am einfachsten zeigen, wenn man zwei verschiedene Metalle, am besten Antimon und Wismuth, in Form eines Rechtecks, wie dieses Fig. 192 zeigt, zusammenlöthet, die eine Seite dieses Rechtecks parallel über eine Magnetnadel hält und eine der Löthstellen m oder n erwärmt. Man bemerkt dann, daß die Magnetnadel eine Ablenkung erleidet; diese Ablenkung wird noch verstärkt, wenn man, während die eine Löthstelle erwärmt wird, zugleich die andere erkältet. Die Seite, nach welcher die Ablenkung erfolgt, Ost oder West, läßt mit Benutzung der oben angeführten Ampère'schen Regel die Richtung des Stromes erkennen, welcher durch die vier Seiten des Rechtecks circulirt; besteht das Rechteck aus Wismuth und Antimon, so geht der Strom durch die wärmere Löthstelle vom Wismuth zum Antimon, durch die kältere vom Antimon zum Wismuth.

(Fig. 192.)

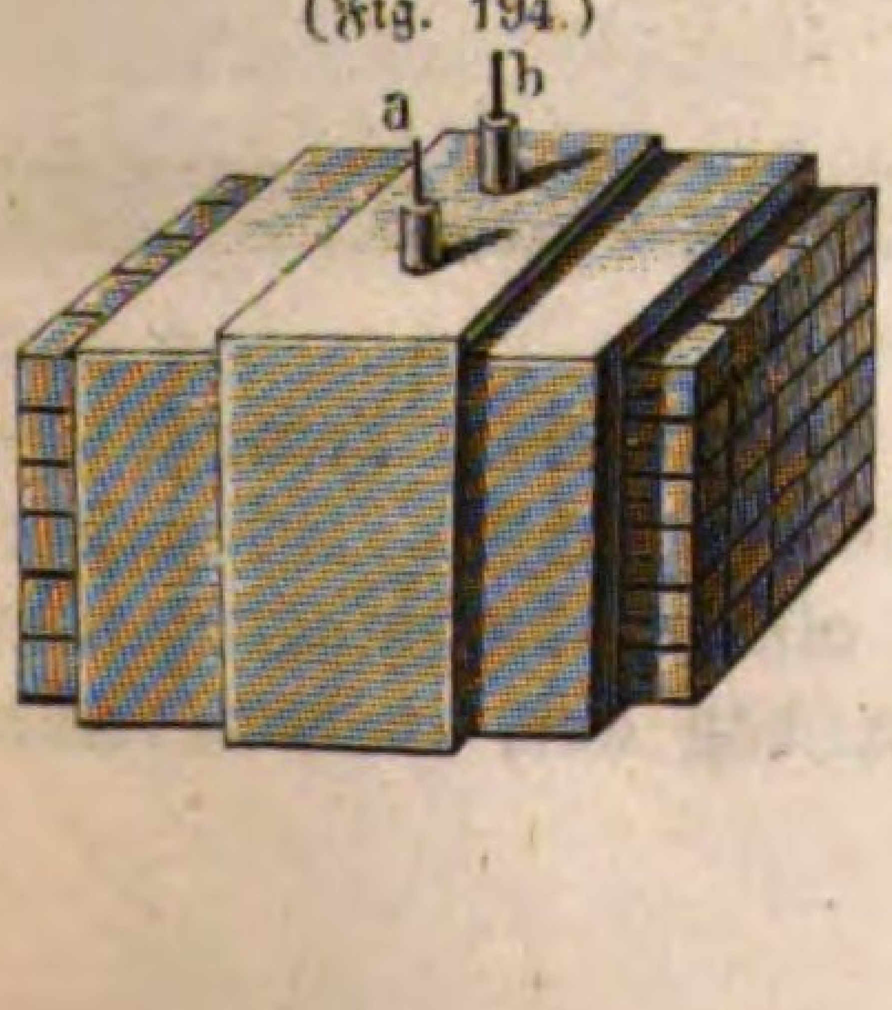


(Fig. 193.)



Noch kräftigere Wirkungen, als durch die bisher behandelte einfache thermoelectrische Kette werden erhalten, wenn man mehrere Stäbe aus Wismuth und Antimon in der Anordnung, wie dieses Fig. 193 darstellt, zusammenlöthet, die beiden äußersten Stäbe a und b durch Dräthe mit einem empfindlichen Multiplicator verbindet und dann die nach einer Seite liegenden Löthstellen, z. B. 1, 3, 5, 7 erwärmt und die anderen 2, 4, 6 erkältet. Mit Hilfe der angegebenen Verbindung mehrerer Stäbe kann man durch den thermoelectrischen Strom nicht blos magnetische, sondern auch alle anderen Wirkungen einer schwachen Volta'schen Säule hervorbringen.

(Fig. 194.)



Die zweckmäßigste Einrichtung hat Nobili der angeführten Combination mehrerer thermoelectrischen Ketten gegeben, indem er die durch zwischengebrachte Nichtleiter gehörig isolirten Stäbe in ein Bündel vereinigte, so daß alle paarigen Löthstellen nach der einen, alle unpaarigen nach der andern Seite zu liegen kommen. An das äußerste Wismuthstäbchen und an das äußerste Antimonstäbchen sind Dräthe

gelöthet, welche durch die elfenbeinernen Röhrchen a und b, Fig. 194, hindurchgehen und mit einem Multiplicator verbunden werden. Die geringste Erwärmung der nach der einen Seite liegenden Löthstellen vermag schon eine starke Ablenkung der Multiplicatornadel hervorzurufen.

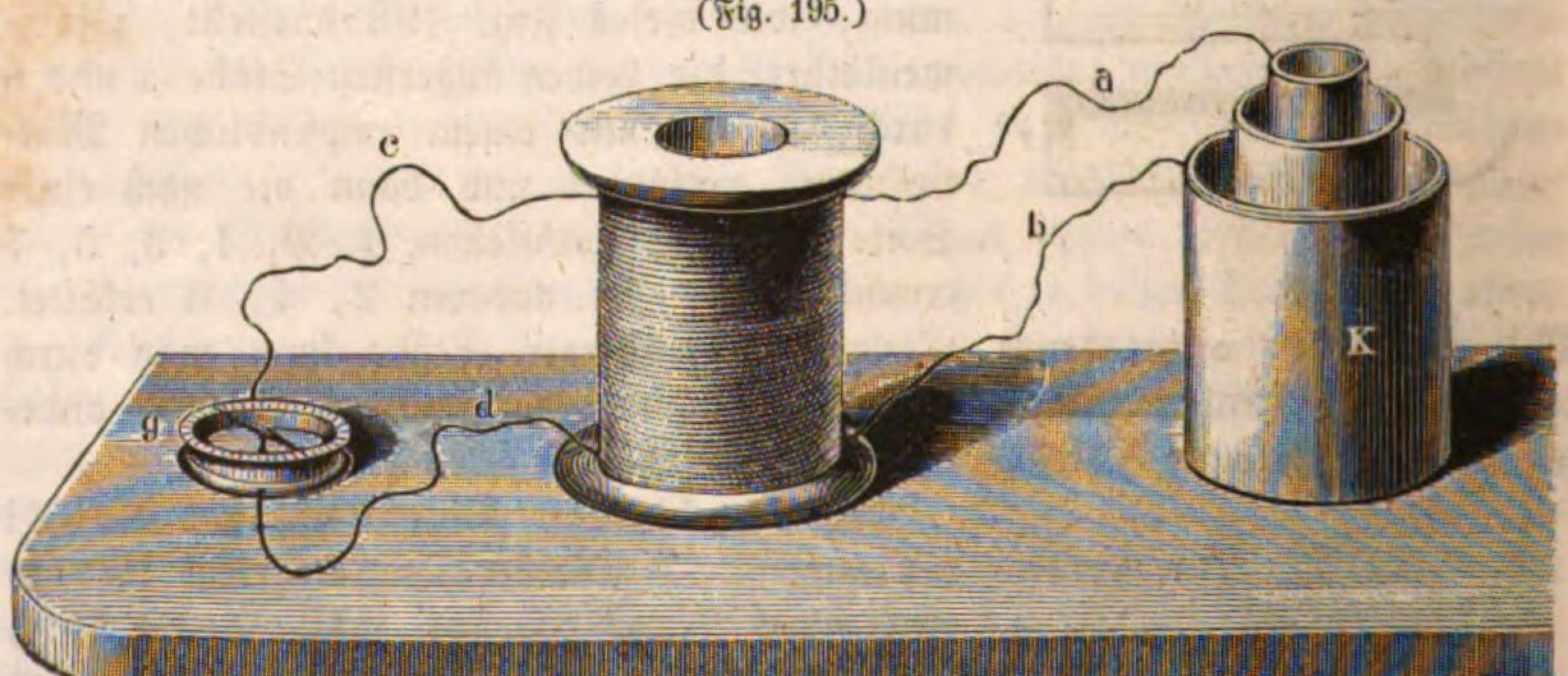
Besonders Melloni hat diesen von Nobili erfundenen Thermomultiplicator, welcher jedes andere Thermometer an Empfindlichkeit weit übertrifft, zur Ermittelung der Gesetze der strahlenden Wärme benutzt. Es zeigt sich uns auch hier wieder, wie in unzähligen anderen Fällen, ein Beispiel, wie Fortschritte in dem einen Zweige der Naturwissenschaften zu Entdeckungen in anscheinend ganz fremdartigen Gebieten führen.

Electrische Induction.

An die so eben behandelte Entdeckung der thermoelectrischen Ströme durch Seebeck reihen wir zunächst eine der wichtigsten Entdeckungen Faraday's in England, welche, eben so wie jene, durch Oersted's Entdeckung der Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel ermöglicht worden ist. Faraday hat nehmlich im Jahre 1831 gezeigt, daß jeder galvanische Strom bei seinem Eintreten und bei seinem Verschwinden zugleich in benachbarten geschlossenen Leitern electrische Ströme hervorruft. Faraday nennt diese letzteren Ströme inducirte, den ursprünglichen galvanischen Strom aber den inducirenden.

Die Stärke des inducirten Stromes wird natürlich durch die des inducirenden bedingt; weiter aber hängt dieselbe auch von der Nähe beider Ströme und von der Länge des Weges ab, welchen beide neben einander durchlaufen. Da es unbequem sein würde, zwei sehr lange Dräthe parallel neben einander auszuspannen, so pflegt man einen hundert und mehr Fuß langen Drath auf eine Rolle zu wickeln, welchen man vorher mit Seide umsponnen hat, damit die auf oder neben einander liegenden Windungen des Drathes sich nicht berühren, sondern gegen einander isolirt sind. Auf diesen Drath wickelt man dann einen zweiten ebenfalls mit Seide umsponnenen sehr langen Drath. Bringt man nun die Enden a und b des einen Drathes, welchen wir den Hauptdrath nennen wollen, mit den Polen einer galvanischen Kette K, Fig. 195, die Enden des anderen Drathes c

(Fig. 195.)



und d, welcher der Nebendrath heißen mag, mit einem Galvanometer g in Verbindung, so erleidet die Magnetnadel in dem Augenblicke, in welchem durch den Hauptdrath die Kette geschlossen wird, also in diesen der galvanische Strom eintritt, eine Ablenkung, zum Beweise, daß auch in dem Neben=

drathe ein electrischer Strom hervorgerufen wird, und sie wird aufs Neue, aber nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, wenn der galvanische Strom durch Oeffnung des Hauptdrathes unterbrochen wird.

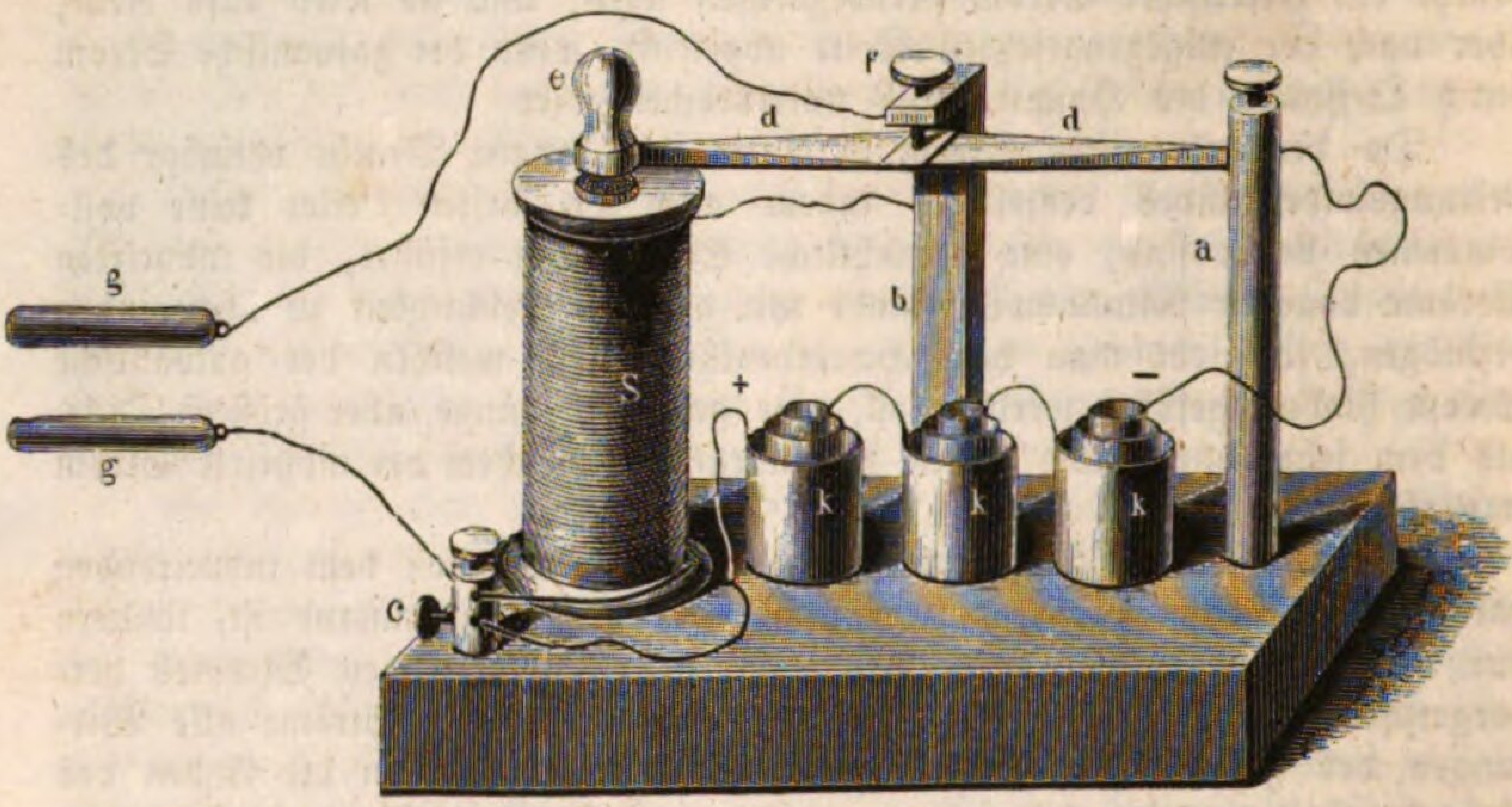
Da der galvanische Strom in einem sehr langen Drathe vermöge des Leitungswiderstandes desselben, indem auch die besten Leiter keine vollkommenen Leiter sind, eine beträchtliche Schwächung erfährt, die inducirten Ströme dagegen Leitungswiderstände mit größerer Leichtigkeit zu überwinden vermögen, so giebt man dem Hauptdrathe, durch welchen der galvanische Strom hindurchgeführt werden soll, eine geringere Länge, aber größere Dicke, als dem sehr langen und feinen Nebendrath, in welchem der inducirte Strom erzeugt wird.

Der inducirte Strom unterscheidet sich überdieß von dem inducirenden galvanischen Strom darin, daß er nicht, wie dieser, andauernd ist, sondern nur beim Entstehen und beim Verschwinden des inducirenden Stromes hervorgerufen wird. Im übrigen vermögen die inducirten Ströme alle Wirkungen der galvanischen Ströme hervorzubringen. Werden die Enden des Nebendrathes einander bis auf einen kleinen Abstand genähert, so sieht man zwischen denselben, beim Schließen oder Oeffnen der Kette durch den Hauptdrath, einen Funken überspringen. Faßt man die Enden des Nebendrathes oder noch besser zwei an diese angelöthete metallene Griffe mit den Händen an, so empfindet man beim Eintreten und Verschwinden des Stromes im Hauptdrathe eine Erschütterung. Dieß ist auch dann der Fall, wenn der galvanische Strom selbst viel zu schwach ist, um unmittelbar empfunden zu werden. Die Empfindung steigert sich und kann unerträglich werden, wenn die Erschütterungen sehr rasch auf einander folgen. Wir werden sogleich eine Vorrichtung kennen lernen, durch welche dieses rasche Oeffnen und Schließen der Kette in zweckmäßiger Weise bewirkt werden kann. Wir haben nur vorher noch eine weitere Entdeckung Faraday's anzuführen.

Faraday hat nehmlich auch gezeigt, daß ein electrischer Strom nicht blos in benachbarten Leitern, sondern auch in dem Drathe, den er selbst durchläuft, einen inducirten Strom hervorruft. Faraday nennt diesen inducirten Strom den Extrastrom. Eine Wirkung dieses Extrastromes zeigt sich, wenn man eine galvanische Kette, welche für sich keine Erschütterung hervorzubringen vermag, durch einen sehr langen Drath schließt und nahe an die Enden des Drathes angelöthete Metallstücke mit den Händen anfaßt. Man empfindet dann beim Oeffnen der Kette eine Erschütterung, was nicht der Fall ist, wenn der Schließungsdrath nur eine geringe Länge hat. Beim Schließen der Kette wird auch bei einem langen Drathe eine Erschütterung nicht wahrgenommen, weil dann der inducirte und der inducirende Strom, wie aus der Ablenkung der Magnetnadel folgt, entgegengesetzte Richtung haben und sich daher gegenseitig schwächen. Beim Oeffnen der Kette haben dieselben dagegen die nehmliche Richtung und müssen sich folglich verstärken.

Man benutzt gegenwärtig die inducirten Ströme, insbesondere den Extrastrom, häufig für medicinische Zwecke. Fig. 196 stellt einen hierzu geeigneten Apparat dar, bei welchem das rasche Schließen und Oeffnen der Kette durch den von Wagner erfundenen und von Neeff für derartige Apparate benutzten electro-magnetischen Hammer bewirkt wird. Auf einem hölzernen Brettchen sind zwei metallne Ständer a und b, eine Drathspirale S und eine kurze metallne Säule c befestigt. Die Drathspirale wird durch einen langen, mit Seide umsponnenen Drath gebildet, welcher um eine

(Fig. 196.)



hölzerne Spule gewickelt ist. Das eine Ende dieses Drathes ist mit der metallnen Säule c, das andere mit dem metallnen Ständer b verbunden. Innerhalb der hölzernen Spule befindet sich ein Bündel von dünnen Eisenstäben, Dräthen. An der Säule a ist ein federnder Metallstreifen dd befestigt, welcher am entgegengesetzten Ende einen eisernen Knopf e trägt, welcher um eine geringe Entfernung von den oberen Enden der in der Spule befindlichen Dräthe absteht. In der Mitte des Metallstreifens aber ist ein dünnes Blättchen von Platin angebracht, welches von der ebenfalls aus Platin bestehenden Spitze einer Schraube f, welche an dem Ständer b befestigt ist, sanft berührt wird.

Wenn nun die beiden Metallsäulen a und c mit den Polen einer galvanischen Kette k und überdieß die Säulen b und c mit zwei metallenen Griffen gg, welche ein Mensch in den Händen hält, durch Dräthe verbunden werden, so geht der von der galvanischen Kette erregte und nach dem metallenen Ständer c fortgeleitete Strom zum einen Theile durch den Körper des Menschen, welcher die Griffe gg angefaßt hat, zum anderen Theile durch den Drath der Spirale S nach dem metallenen Ständer b, von wo die wieder vereinigten Stromtheile durch die Schraube f und den Metallstreifen d nach dem anderen Pole der galvanischen Kette k gelangen. Der durch den menschlichen Körper gehende Theil des electrischen Stromes ist viel zu schwach, um empfunden zu werden; der aber durch die Drathspirale S gehende Theil ist kräftig genug, das in dieser befindliche Drathbündel so stark zu magnetisiren, daß dasselbe den eisernen Knopf e an sich zieht, wodurch die Berührung zwischen dem Platinblättchen des Metallstreifens d und der Platinspitze der Schraube f aufgehoben und daher die Fortleitung des galvanischen Stromes unterbrochen wird. In Folge hiervon verschwindet aber der in dem Drathbündel erregte Magnetismus, der eiserne Knopf wird losgelassen, die Berührung zwischen der Platinspitze bei f und dem Platinbleche, also auch die Stromleitung wieder hergestellt, was aufs Neue die Erregung des Magnetismus in dem Drathbündel und die Anziehung des eisernen Knopfes zur Folge hat.

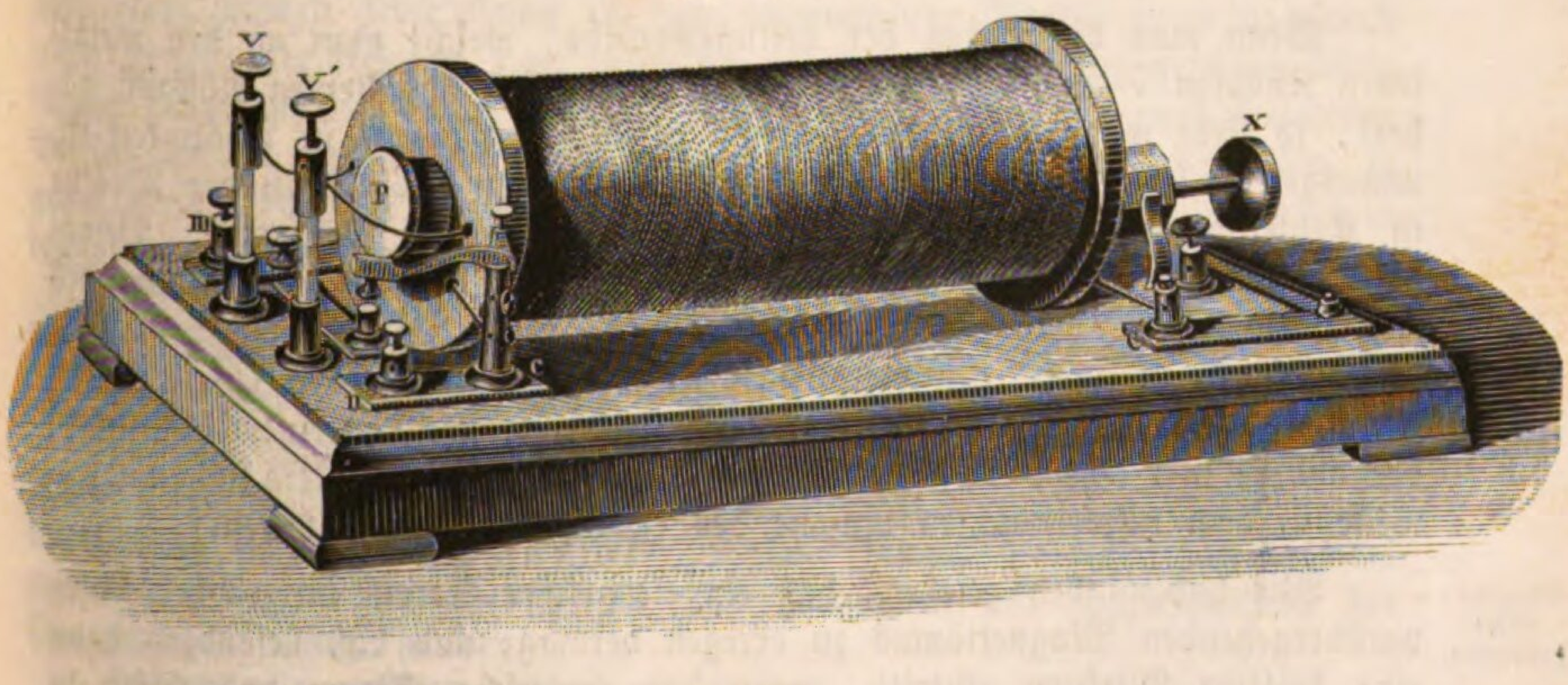
Auf diese Art wird durch den Apparat selbst in rascher Folge eine wechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung der galvanischen Stromleitung

bewirkt. Indem aber die Enden des Drathes der Spirale, auch wenn der galvanische Strom bei f eine Unterbrechung erfährt, mit den beiden Handgriffen gg unausgesetzt in leitender Verbindung bleiben, so nimmt der bei jedesmaliger Unterbrechung des galvanischen Stromes in der Drathspirale S erzeugte Extrastrom seinen Weg durch den Körper des Menschen, welcher die Griffe gg in den Händen hält, und wird von demselben um so lebhafter empfunden, je rascher die Unterbrechungen aufeinander folgen.

In wie weit die in den letzten Jahren häufig gemachten Anwendungen derartiger Apparate für medicinische Zwecke wirklich von heilsamen Erfolgen begleitet gewesen sind, kann für uns hier keinen Gegenstand der Erörterung bilden. Ueber die Hervorrufung inducirter Ströme aber haben wir noch anzuführen, daß in einem geschlossenen Leiter auch schon dann, wenn demselben ein galvanischer Strom genähert oder von ihm entfernt wird, inducirte Ströme entstehen. Man zeigt dieses, indem man zwei Drathrollen, von denen die eine mit einer galvanischen Kette, die andere mit einem Multiplicator verbunden ist, einander nähert und wieder von einander entfernt. Sowohl bei der Annäherung, als bei der Entfernung erfährt die Multiplicatornadel eine Ablenkung; die Ablenkung ist im ersten Falle die entgegengesetzte von der im zweiten. Aus der Art dieser Ablenkung ergiebt sich, daß der durch die Annäherung erzeugte inducirte Strom die entgegengesetzte, der bei der Entfernung entstehende inducirte Strom die gleiche Richtung mit dem inducirenden Strome hat.

Wie schon oben bemerkt, werden jedoch durch einen galvanischen Strom die kräftigsten inducirten Ströme hervorgerufen, wenn man die Dräthe, durch welche diese Ströme hindurchgehen, einander möglichst nahe bringt, indem man dieselben unmittelbar über einander wickelt. Höchst ausgezeichnet sind die Leistungen der nach diesem Principe in den letzten Jahren von dem deutschen Mechaniker Rhumkroff in Paris im großartigsten Maaßstabe ausgeführten Inductions-Apparate. Bei dem Apparate von Rhumkroff, welchen Fig. 197 darstellt, ist zunächst um eine Spule ein mäßig langer, mit Seide

(Fig. 197.)



umsponnener Drath von etwa einer Linie Dicke gewickelt. Die Enden dieses Drathes sind an die Metallsäulen c und c' befestigt, welche mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden, wenn durch diesen Drath ein

galvanischer Strom hindurchgeführt werden soll. Ueber den dickeren Drath ist nun weiter ein ebenfalls mit Seide übersponnener, äußerst feiner Drath gewunden, welcher mehr als eine geographische Meile Länge hat. Die Enden dieses Drathes sind an zwei metallenen Knöpfen v und v′ befestigt, welche durch Glassäulen getragen und mit demjenigen Körper, durch welchen der inducirte Strom hindurchgehen soll, durch Dräthe in leitende Verbindung gebracht werden. Innerhalb der Spule ist ein Bündel Eisenstäbe angebracht, deren hervorragendes Ende mit einer eisernen Kappe P bedeckt ist, und unter dieser befindet sich ein electro-magnetischer Hammer, durch welchen die in raschester Folge wechselnden Unterbrechungen und Schließungen des galvanischen Stromes in ähnlicher Art, wie wir dieß oben bei dem in Fig. 196 abgebildeten Apparate kennen gelernt haben, bewerkstelligt werden, weshalb wir auch bei der Beschreibung dieses Theiles des Apparates hier nicht verweilen. Eben so übergehen wir die Beschreibung eines anderen, am entgegengesetzten Ende des Apparates befindlichen Theiles, welcher den Namen Stromwender führt, indem derselbe nur die untergeordnete Bestimmung hat, den galvanischen Strom durch Umdrehung eines mit dem Handgriffe X verbundenen Cylinders bald in der einen, bald in der anderen Richtung durch den inneren dickeren Drath führen zu können, ohne erst nöthig zu haben, die Poldräthe der Batterie zu vertauschen.

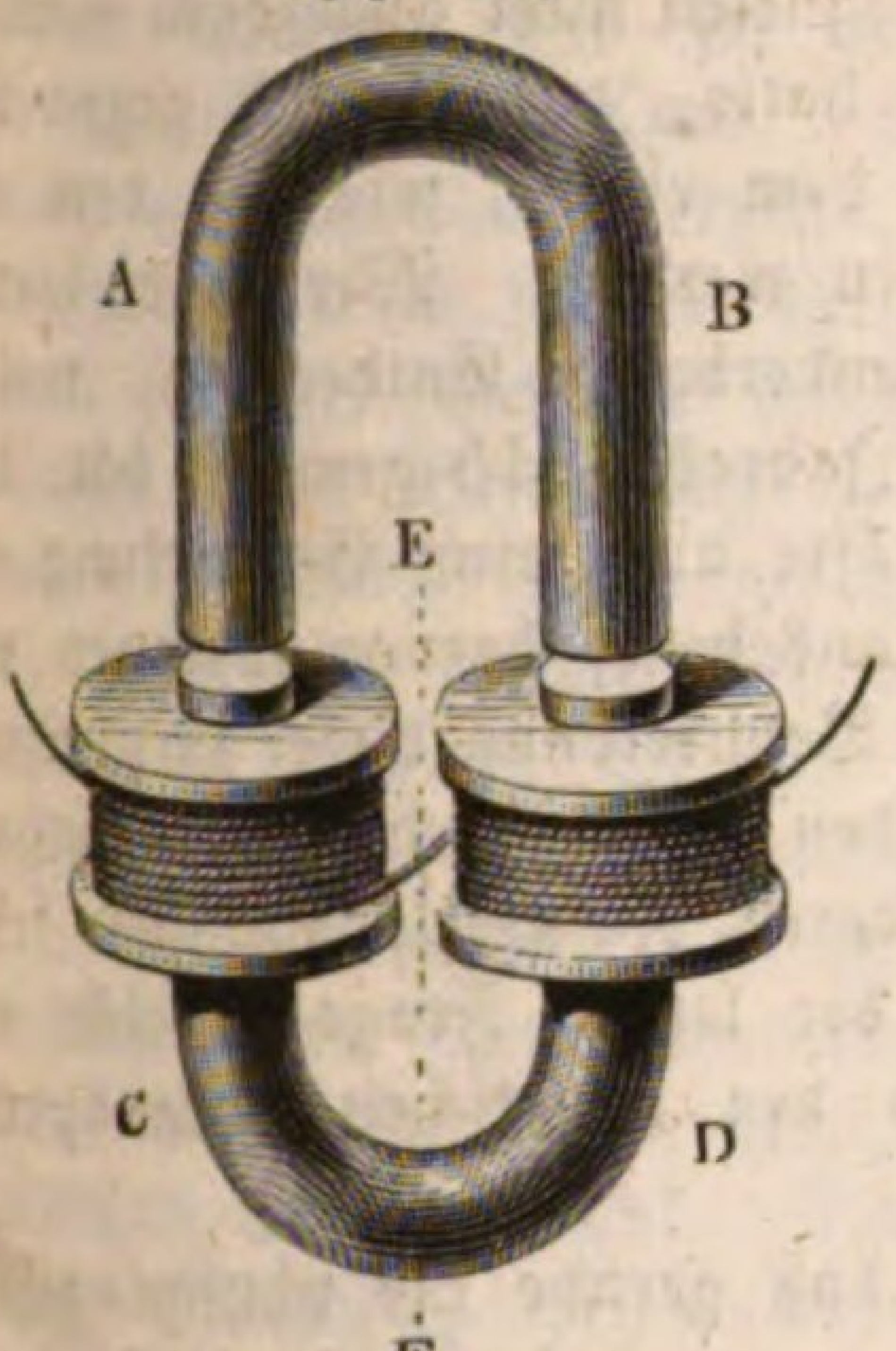
Wenn man auch nur einen galvanischen Strom von mäßiger Stärke durch den kürzeren, dickeren Drath hindurchgehen läßt, so sind doch die in dem längeren, dünneren Drathe erregten inducirten Ströme so kräftig, daß sie bei Außerachtlassung der nöthigen Vorsicht Gefahr bringend werden. Als der französische Physiker Quet zufällig mit den an den metallenen Knöpfen v und v′ befestigten Leitungsdräthen in Berührung kam, wurde er zu Boden geworfen und würde wahrscheinlich das Leben verloren haben, wenn ihm nicht Rhumkroff zu Hilfe geeilt wäre. Die Erschütterungen, welche er erlitten, waren so heftig, daß er einige Zeit zu Bette liegen mußte. Um die physiologischen Wirkungen zu ermäßigen, pflegt man den inducirten Strom durch Einschaltung eines schlechteren Leiters, als welchen man mit Wasser oder Spiritus gefüllte gläserne Röhren anwendet, zu schwächen.

Wenn man die Enden der Leitungsdräthe, welche man an den metallenen Knöpfen v und v′ befestigt hat, einander bis auf kleinen Abstand nähert, so sieht man zwischen denselben, wenn der Apparat in Thätigkeit ist, unausgesetzt lebhafte Funken überspringen. Laufen die Enden der Dräthe in Kohlenspitzen aus, so zeigt sich ein glänzend weißer Lichtschein. Besonders prachtvolle Lichterscheinungen aber bietet der luftverdünnte Raum des electrischen Eies (vergl. oben S. 206) dar, dessen im Inneren befindliche Metallknöpfe man mit den metallenen Fassungen v und v′ in leitende Verbindung bringt. Der eine dieser Knöpfe erscheint dann von einem bläulichen, der andere von einem röthlichen Lichte umgeben, welches letztere sich schichtenweise in dem luftverdünnten Raume des electrischen Eies ausbreitet.

Magnetische Induction. Wir haben oben gesehen, daß ein electrischer Strom im weichen Eisen vorübergehenden Magnetismus zu erregen vermag, und daß besonders dann eine kräftige Wirkung eintritt, wenn der electrische Strom das Eisen in zahlreichen Windungen umkreist. Auch für dieses physikalische Gesetz ist zuerst durch Faraday die Umkehrung aufgefunden worden. Faraday hat nehmlich gezeigt, daß jeder im weichen Eisen entstehende oder verschwindende Magne-

tismus in geschlossenen Leitern, welche in der Nähe des Magneten vorhanden sind, inducirte Ströme hervorruft. Um dieses zu zeigen, führt man um die beiden Schenkel eines hufeisenförmig gebogenen Stückes weichen Eisens CD, Fig. 198, einen Drath in mehreren Windungen und verbindet die Enden desselben mit einem Galvanometer. Legt man nun das Hufeisen CD an die Pole eines Stahlmagneten AB, so verwandelt sich das weiche Eisen, wie wir oben gesehen haben, ebenfalls in einen Magneten, und der in demselben erzeugte Magnetismus ruft in dem umwundenen Drathe einen inducirten Strom hervor, welcher sich durch eine plötzliche Ablenkung der Multiplicatornadel zu erkennen giebt. Ein abermaliger inducirter Strom, aber von entgegengesetzter Richtung, wie die jetzt nach der anderen Seite hin erfolgende Ablenkung der Magnetnadel zeigt, durchläuft den umwickelten Drath, wenn bei dem Losreißen des weichen Eisens CD von den Polen des Stahlmagneten AB der Magnetismus in jenem wieder verschwindet.

(Fig. 198.)



Auch diese inducirten Ströme vermögen nicht bloß ablenkend auf die Magnetnadel zu wirken, sondern auch alle anderen Wirkungen der galvanischen Ströme hervorzubringen.

Wenn das weiche Eisen CD in Fig. 198 um eine durch die Mitte desselben gehende Axe EF so gedreht wird, daß die Enden desselben ganz nahe an den Polen des Stahlmagneten AB vorübergehen, so erhalten bekanntlich die Enden des weichen Eisens die umgekehrten Magnetismen von den Polen des Stahlmagneten, denen sie gegenüberstehen, und da diese Enden nach jeder halben Umdrehung ihre Plätze wechseln, so müssen auch diese Magnetismen jedesmal in die entgegengesetzten übergehen und daher nach jeder halben Umdrehung in dem umwundenen Drathe einen und nach jeder ganzen Umdrehung zwei inducirte Ströme von entgegengesetzten Richtungen hervorrufen. Wenn nun die Enden des Drathes mit zwei metallenen Griffen leitend verbunden sind, welche ein Mensch in den Händen hält, so gehen diese inducirten Ströme durch den menschlichen Körper und bewirken in demselben eine um so stärkere Empfindung, je rascher die Umdrehung erfolgt.

Auf diesem Principe beruht die magnetelectrische Maschine, welche in der Abbildung auf S. 3 links unten dargestellt ist. Eine ausführliche Beschreibung einer solchen Maschine würde jedoch unseren Lesern schwerlich ein hinreichendes Interesse gewähren. Wir bemerken nur, daß derartige Maschinen sich, eben so wie die Neeff'schen Apparate (s. oben S. 236), für medicinische Zwecke gebrauchen lassen. Auch können die inducirten Ströme zum electrischen Telegraphiren und zum Entzünden des Schießpulvers bei Sprengungen benutzt werden.

Indem wir unseren Lesern zuletzt zwei wichtige Entdeckungen Faraday's im Gebiete des Electromagnetismus vorgeführt haben, können wir nicht unterlassen, dieselben daran zu erinnern, daß wir schon oben eine der großartigsten Entdeckungen, welche wir diesem scharfsinnigen Forscher ver=

danken, kennen gelernt haben; wir meinen die von Faraday im Jahre 1845 gemachte und mit dem Namen Diamagnetismus bezeichnete Erscheinung, daß Körper, wie Gold, Silber, Kupfer, Blei, Wismuth, Schwefel, Phosphor, Holz, Wasser u. dgl. m., welche vom Magneten nicht angezogen werden, und von denen man bis dahin angenommen hatte, daß sie sich gegen den Magnetismus ganz indifferent verhielten, von dem einen, wie von dem anderen Pole eines kräftigen Magneten abgestoßen werden. Wir reihen hieran noch die kurze Erwähnung einer anderen wunderbaren Entdeckung, welche dieser große Physiker ebenfalls im Laufe des Jahres 1845 gemacht hat, daß nehmlich die magnetischen und electrischen Kräfte auch eine Einwirkung auf polarisirtes Licht, eine Drehung der Polarisationsebene, hervorzubringen vermögen. Wir übergehen jedoch die ausführlichere Beschreibung dieser Erscheinungen, da zur Zeit noch eine nähere Kenntniß über den Einfluß und Zusammenhang derselben mit den allgemeineren und umfassenderen Naturerscheinungen fehlt.

Thierische Electricität.

Wir gehen vielmehr zur Beantwortung der letzten Frage, welche uns noch vorliegt, über, in wie weit auch durch den thierischen Lebensprozeß electrische Erscheinungen hervorgerufen werden.

Unsere Leser erinnern sich ohne Zweifel, daß gerade die physiologischen Wirkungen des electrischen Stromes Galvani zuerst im Jahre 1786 zur Entdeckung der nach ihm benannten Electricitätserregung geführt haben. Daß nun auch umgekehrt durch den thierischen Lebensprozeß electrische Ströme erzeugt werden, ins Besondere in dem menschlichen Körper durch Anstrengung der Muskeln nach Willkühr hervorgerufen werden können, ist vorzüglich durch die in neuerer Zeit (1848) von Dü-Bois-Reymond angestellten Untersuchungen dargethan worden. Da diese Ströme jedoch mehrentheils sehr schwach sind, so bedarf es zur Beobachtung derselben äußerst empfindlicher Apparate und großer Vorsicht in der Behandlung dieser Apparate, weil schon durch irgend eine Verschiedenheit zweier homologe Stellen in der galvanischen Kette einnehmenden Glieder ein Strom hervorgerufen werden kann, welcher im Stande ist, die zu beobachtende Wirkung des durch den thierischen Lebensprozeß erzeugten Stromes zu verdunkeln oder ganz aufzuheben. Bei dem von Dü-Bois angewendeten Multiplicator machte der über 3000 Fuß lange Drath 4650 Windungen. Wenn nun die in Platinplatten auslaufenden Drathenden dieses Multiplicators in zwei mit Salzwasser gefüllte Gefäße eingesenkt wurden, und ein Mensch in jedes dieser Gefäße eine Hand tauchte, so erfuhr die Multiplicatornadel, wenn die Muskeln des einen Armes stärker, als die des anderen angestrengt wurden, eine Ablenkung nach der einen oder nach der anderen Seite, je nachdem diese Anstrengung in dem einen oder dem anderen Arme überwog. Es würde uns jedoch zu weit führen, auf die übrigen von Dü-Bois angestellten, sehr umfassenden Untersuchungen näher einzugehen. Wir führen nur noch das eine Hauptresultat an, daß alle thierischen Muskeln und Nerven, so lange sie überhaupt noch erregbar sind, mit electromotorischen Kräften begabt sind.

In einer ganz ungewöhnlichen Stärke aber äußern sich dieselben bei gewissen Fischen, welche den Namen der electrischen Fische führen, und zu denen der Zitteraal, der Zitterrochen und der Zitterwels gehören. Diese Fische besitzen die Fähigkeit, den sie berührenden Menschen oder Thieren nach Willkühr kräftige electrische Schläge zu ertheilen. Der Schlag wird auch empfunden, wenn man das Thier nicht unmittelbar, sondern mit einem electrischen Leiter, z. B. mit einem Drathe, welchen man in der Hand hält,

berührt. Die Empfindung bleibt dagegen aus, wenn der Zwischenkörper ein schlechter Leiter der Electricität, z. B. ein Glasstab ist. Die Schläge, welche ins Besondere der die Gewässer Südamerika's bewohnende Zitteraal zu ertheilen vermag, sind im hohen Grade betäubend und selbst den größten Thieren Gefahr bringend. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst, wie Alex. v. Humboldt erzählt, verändert werden, weil sich in einem Flüßchen die Zitteraale in solcher Menge angehäuft hatten, daß jährlich viele Pferde, denen sie ihre Schläge ertheilen, indem sie sich unter den Bauch derselben drängen, vor Betäubung in der Furt ertranken. Auch alle anderen Fische fliehen die Nähe dieser gefährlichen Aale. Selbst den Angelnden erschrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die electrische Erschütterung zuleitet. — Haben sie mehrere Schläge nach einander abgegeben, so bedürfen sie einer längeren Ruhe, um neue Kraft zu sammeln.

Die electrischen Schläge werden bei sämmtlichen electrischen Fischen durch ein besonderes Organ hervorgebracht, welches zwar in der Lage und äußeren Form Verschiedenheiten zeigt, in seinem inneren Bau aber bei allen im Wesentlichen übereinstimmt. Dasselbe besteht aus zahlreichen eckigen oder rundlichen Säulchen, welche durch eine sehnigte Haut von einander geschieden sind; die einzelnen Säulchen sind aus vielen dünnen Blättchen, zwischen welchen sich eine schleimigte Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt. Man zählt beim Zitterrochen gegen tausend solcher Säulchen, welche den Raum vom Bauche bis zum vorderen Ende des Kopfes einnehmen, und deren parallele Axen senkrecht, also vom Rücken nach dem Bauche hin, gerichtet sind. Beim Zitteraale liegt das electrische Organ in dem sehr langen Schwanze und erstreckt sich fast durch die ganze Länge desselben, die Säulchen haben die Richtung vom Schwanze nach dem Kopfe hin. Man bekömmt daher beim Zitterrochen die kräftigsten Schläge, wenn man den Rücken und Bauch, beim Zitteraal, wenn man Kopf- und Schwanzende zugleich berührt. — Indem man an die bezeichneten Stellen Metallplatten anlegte und dieselben durch einen Drath verband, hat man durch die von dem Fische ertheilten Schläge electrische Funken und selbst chemische und magnetische Wirkungen hervorgebracht.

Wenn wir nicht zweifeln dürfen, daß den gedachten Fischen dieses wunderbare Organ als Vertheidigungswaffe verliehen ist, so müssen wir dagegen erst von der Zukunft Belehrung darüber erwarten, welchen Einfluß die in den thierischen Organismen allgemein verbreiteten schwachen electrischen Ströme auf den Lebensprozeß und das Wohlsein der Thiere und ins Besondere auch des Menschen ausüben dürften.

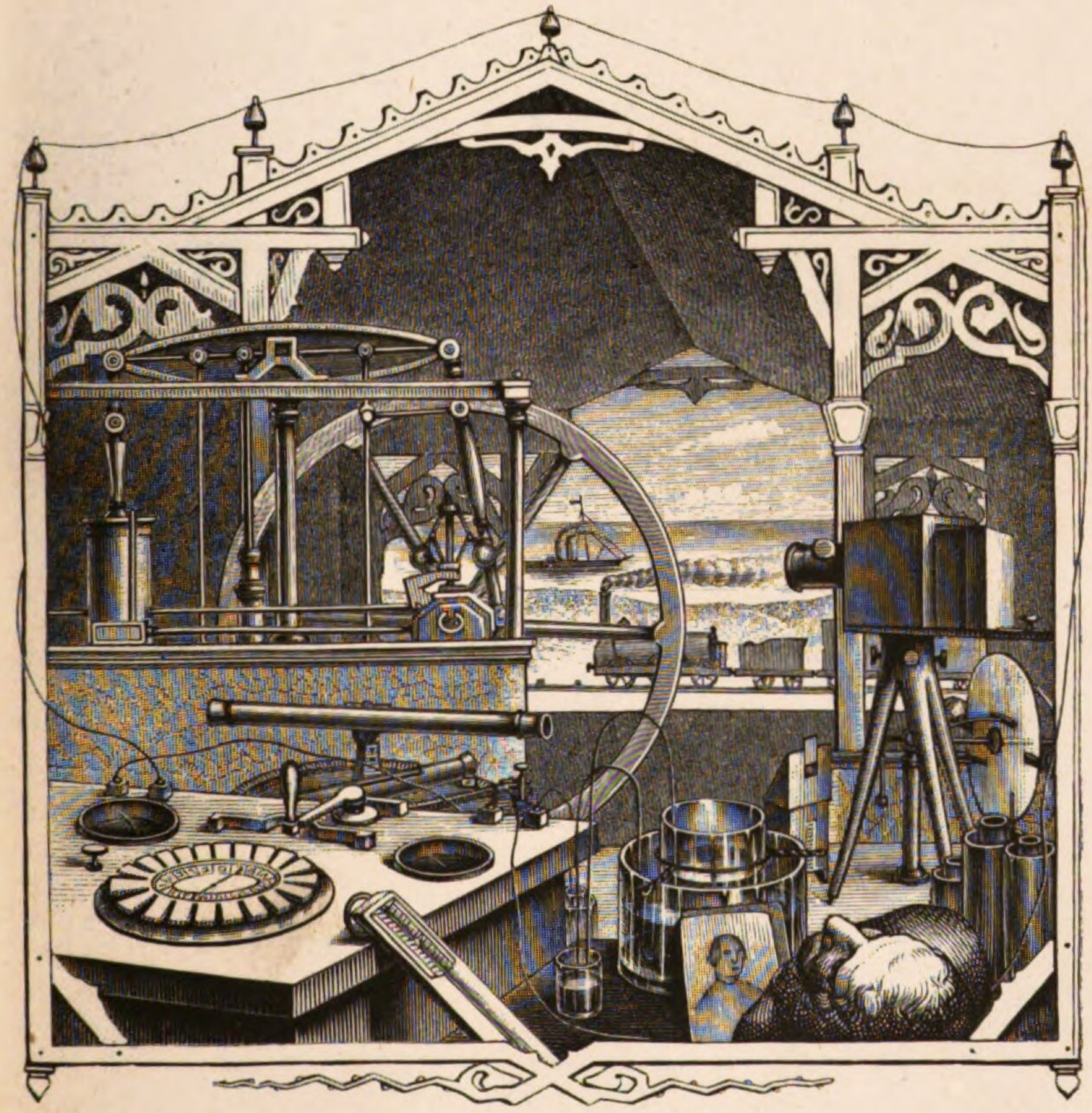
Ist uns doch selbst die Bedeutung, welche überhaupt den beiden räthselhaften Agentien, Electricität und Magnetismus, im großen Haushalte der Natur zukommt, eben sowie das Wesen derselben, worüber kaum eine Hypothese gewagt werden kann, zur Zeit noch gänzlich verborgen. Wir messen die Größe und Richtung der Kraft des Erdmagnetismus, unsere magnetischen Instrumente weisen uns die täglichen und jährlichen Aenderungen dieser Kraft, so wie eine über Jahrhunderte sich erstreckende Schwankung auf. Das Luftelectrometer zeigt uns, daß die Atmosphäre fast zu allen Tages- und Jahreszeiten mit Electricität geladen ist. Aber die Einflüsse, welche der Erdmagnetismus und die Luftelectricität, ja selbst die großartigste aller Naturerscheinungen, die wir beobachten, das Gewitter, auf die Gesammtheit der auf der Erde befindlichen Körper ausüben, der Antheil, welcher denselben in Betreff der umfassenderen Veränderungen gebührt, denen die Körperwelt fort-

während unterworfen ist, erscheint, so viel uns hierüber bis jetzt bekannt, als unbedeutend gegen die allgewaltigen Wirkungen, welche andere Naturkräfte, wie z. B. die Wärme hervorbringen. Wir gewahren das flammende Licht des Blitzstrahls und vernehmen das Krachen des Donners nicht ohne das Gefühl unserer eigenen Schwäche und Ohnmacht, wir erfahren, daß durch den Blitz Häuser entzündet, Thiere und Menschen getödtet werden, aber der Nutzen, welchen die electrische Entladung der Gewitterwolke an und für sich, nicht der begleitende Regen, auf das Wachsthum der Pflanzen, auf das Wohlbefinden der Thiere und Menschen ausüben dürfte, ist, wenigstens anscheinend, so gering, daß unsere bisherigen Erfahrungen denselben noch nicht mit Sicherheit herausgestellt haben. Denn in der Natur pflegen nicht die augenfälligsten, sondern oft die scheinbar kleinsten und verborgensten Ursachen die großartigsten Wirkungen hervorzubringen.

Die fortgesetzten Beobachtungen des electrischen Zustandes der Atmosphäre, die in neuerer Zeit auf Anregung Alex. v. Humboldt's in weitester Verbreitung über die Erdoberfläche errichteten magnetischen Observatorien, die unermüdlichen Forschungen der ausgezeichnetsten Geister aller civilisirten Nationen des Erdballes, vorzüglich in Deutschland, England und Frankreich, lassen jedoch der Hoffnung Raum geben, daß die fortschreitende Wissenschaft auch in das Dunkel, in welches noch gegenwärtig das Wesen und die Bedeutung der beiden wunderbaren Kräfte, Magnetismus und Electricität, gehüllt sind, ein helleres Licht bringen und eine klarere Einsicht gewähren wird, und zwar um so mehr, als gerade die Entdeckungen der letzten Decennien einen innigeren Zusammenhang der Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität so wohl unter sich, als auch mit den bereits genauer erforschten Erscheinungen des Lichtes und der Wärme kennen gelehrt haben.

Zur

physikalischen Technologie.



I.

Die Dampfmaschine.

Von

C. L. Moll,
Ingenieur.

Schon ein flüchtiger Blick auf die Geschichte der letzten hundert Jahre läßt die großen und mannichfachen Veränderungen erkennen, welche während dieser Zeit der ganze Zustand der menschlichen Gesellschaft erfahren hat. Und wenn die Frage aufgeworfen wird, was denn jene Veränderungen hervorgerufen hat, so muß als eine der Hauptursachen derselben die Nutzbarmachung der Spannkraft des Wasserdampfes genannt werden. Die Dampfmaschine, dieses aus eisernen Gliedern so sinnreich zusammengefügte Wesen, ist während jenes Zeitraumes zu einem Diener des Menschen geworden, wie er sich keinen willigeren, stärkeren und unverdrossneneren wünschen kann. Erst dieser Diener hat den Menschen in mancher Hinsicht zum Herrn über den leblosen Stoff gemacht. Ueberall kann er gebraucht werden, wo die Kraft des Menschenarmes nicht mehr ausreicht, um schwere Arbeiten zu vollbringen. Aus jeder Tiefe hebt die Dampfmaschine die Mineralien zu Tage, die der Fleiß des Bergmannes mühsam gewonnen hat; die unterirdischen Wasser, welche diesen von der Arbeit zu vertreiben suchen, werden von ihr unermüdlich an die Oberfläche gefördert. Die großen Gebläse, welche rastlos Tag und Nacht die Gluth der Schmelzöfen anfachen, setzt die Dampfmaschine in Bewegung. Mit centnerschweren Hämmern führt sie dröhnende Schläge auf glühende Metallmassen, und nöthigt diese, zwischen raschlaufenden Walzen die verschiedensten Formen anzunehmen. Tritt der Laie in die Säle einer der großen Spinn- und Webereien, wie die Neuzeit deren so manche geschaffen hat, und sieht tausende von Spindeln die feinsten Fäden spinnen, und hunderte von Weberschiffchen emsig hin und her schnurren, so wird er mit gerechtem Staunen die Dampfmaschine betrachten, die mit gewaltigem Arme gleichzeitig so zahlreiche Arbeiten verrichtet. Aber nicht nur den materiellen, auch den geistigen Bedürfnissen ist die Dampfmaschine dienstbar. Sie macht es möglich, daß eine einzige Presse in einer Stunde zwanzig tausend Bogen druckt. Und soll ich noch daran erinnern, wie die Dampfmaschine täglich einen Verkehr unter den Menschen vermittelt, von dessen Ausdehnung die früheren Zeiten gar keine Ahnung hatten. Tausende von Dampfschiffen befahren die Flüsse und Meere. Mit Wind und Wellen kämpfend verfolgt das Dampfboot seinen Weg von einem Continent zum anderen. Die Strömung der Flüsse wird von ihm überwunden, und ihm als Führer folgen die schwerbeladenen Schleppkähne. Mit der Schnelligkeit des Vogelfluges durcheilt der Dampfwagen die Länder, und rückt Städte einander vor die Thore, welche früher durch ganze Tagereisen getrennt waren. Eine beständige, aber friedliche Völkerwanderung ist durch die Dampfschiffe und Eisenbahnen

hervorgerufen worden. Die Menschen kommen untereinander in vielfachere Berührung, und die Produkte des Bodens und Gewerbfleißes, wie die Erzeugnisse geistiger Thätigkeit werden im regsten Wechselverkehr ausgetauscht.

Es wäre leicht, noch durch weitere zahlreiche Beispiele den tiefgreifenden Einfluß darzuthun, den die Benutzung der Dampfkraft auf unser ganzes heutiges Leben ausübt. Das oben Gesagte, und mehr noch das, was sich Jedem, der beobachtend seinen Blick auf das um ihn Vorgehende richtet, täglich darbietet, wird indeß vollständig genügen, um bei jedem Gebildeten den Wunsch zu erwecken, mit der Erfindung und mit der Einrichtung und Thätigkeit einer Maschine näher bekannt zu werden, deren bedeutende Wirkungen er allenthalben vor Augen hat.

Dem Zwecke dieses ganzen Werkes, Einsicht zu verschaffen in die Gesetze der Natur und in die Anwendungen, die der Menschengeist von denselben gemacht hat, wird auch der nachfolgende Aufsatz zu dienen suchen. Die engen räumlichen Grenzen, welche demselben gezogen sind, machen es aber zur Nothwendigkeit, überall nur das *Wesentliche und allgemein Wissenswerthe* zu berücksichtigen. Zu dem Verständniß einer jeden Erfindung trägt es, wie wohl allgemein anerkannt ist, ganz besonders viel bei, wenn nicht nur das schließliche Ergebniß der Erfindung beschrieben, sondern wenn dieselbe von den ersten Anfängen an verfolgt und auf den Hauptstufen ihrer Entwickelung näher ins Auge gefaßt wird. Es soll daher auch im Folgenden eine besondere Aufmerksamkeit darauf verwandt werden, in kurzen aber möglichst deutlichen Umrissen sowohl die Keime, als wie die Reihe glänzender Erfindungen darzulegen und zu erörtern, aus denen und durch welche die Dampfmaschine nach und nach zu einer der Hauptstützen unserer ganzen heutigen Gewerbs- und Verkehrsverhältnisse geworden ist. Indem wir dem Faden der Geschichte folgen, werden sich von selbst Gelegenheiten darbieten, näher auf die Einrichtung und die Thätigkeit der *verschiedenen Arten der Dampfmaschine* und ihrer einzelnen *Theile* einzugehen.

In den letztverflossenen dreißiger und vierziger Jahren war unter den Männern der Wissenschaft auf dem Festlande, und besonders in Frankreich, das eigenthümliche Bestreben vorhanden, die Erfindung der Dampfmaschine zu einer möglichst alten zu machen. Während einige wenigstens nur den Nachweis versuchten, daß die ersten Spuren der Dampfmaschine etwa hundert Jahre vor dem Beginn unserer Zeitrechnung zu suchen seien, glaubten andere bis zur Zeit des Pyramidenbaues im alten Egypten zurückgehen zu müssen. Es ist schwer zu sagen, aus welcher Ursache man jenes Bestreben eigentlich herleiten soll. Ob dasselbe durch den Wunsch hervorgerufen wurde, durch Zuschreibung eines großen Alters die Erfindung der Dampfmaschine gleichsam ehrwürdiger zu machen, oder ob man das Verdienst derselben den neueren Völkern dadurch entziehen wollte — diese Frage dürfte nicht leicht zu entscheiden sein. Der Erfolg jenes Strebens kann dagegen nur als ein unglücklicher bezeichnet werden, indem er sehr dazu mitgewirkt hat, die Geschichte der Dampfmaschine zu verwirren und zu trüben. Eine unbefangene Prüfung aller einschlagenden Nachrichten und Thatsachen läßt aber keinen Zweifel darüber, daß sowohl das Alterthum, wie auch das ganze Mittelalter zur Erfindung der Dampfmaschine Nichts beigetragen haben. Es ist hier nicht der Ort, die Richtigkeit dieser Behauptung durch eine Kritik der betreffenden Original-Mittheilungen näher zu begründen; indeß werden schon folgende Bemerkungen hinreichen, um jene deutlich erkennen zu lassen.

Das Alterthum hatte fast gar keine Kenntniß von den Eigenschaften des Wasserdampfes; ja es wurde dieser allgemein für gleichartig mit der atmosphärischen Luft gehalten, und glaubte man, daß sich das Wasser, wenn es verdunste, in Luft verwandele. Vollständig die Ansichten seiner Zeit über den Wasserdampf theilend, beschreibt Hero von Alexandrien (120 v. Chr.) eine Vorrichtung, bei welcher eine kleine hohle Metallkugel ebensowohl durch das Ausströmen von Wasserdampf als von erhitzter Luft in eine drehende Bewegung versetzt werden kann. An einen Vorzug des einen Verfahrens vor dem anderen denkt Hero gar nicht, und ebensowenig daran, daß aus seinem Apparate eine nutzbare, Arbeit verrichtende Maschine hervorgehen könne. Ein solcher Gedanke kann aber auch von dem alten griechischen Physiker gar nicht erwartet werden. Im Alterthume war das Bedürfniß nach einer Kraftmaschine, wie wir sie heute in der Dampfmaschine besitzen, noch nicht in dem Maße vorhanden, um denkende Köpfe zur Erfindung einer solchen anzutreiben. Fast alle Erfindungen auf dem technischen Gebiete sind aber Kinder einer zwingenden Nothwendigkeit; wo diese noch fehlt, sind auch jene meist noch fern. Nach Hero sollten noch achtzehn Jahrhunderte verfließen, bevor die ersten erfolgreichen Schritte zur Erfindung der Dampfmaschine gemacht wurden. Ehe diese aber weiter besprochen werden können, muß noch zweier Männer gedacht werden, denen seit längeren Jahren, aber unrechtmäßiger Weise, ein bedeutender Antheil an der Erfindung der Dampfmaschine zugeschrieben wird. Es sind dies Salomon de Caus und der Marquis von Worcester. Hero v. Alexandrien.

Im Jahre 1813 machte der französische Bergingenieur Baillet auf ein von de Caus verfaßtes Werk aufmerksam, in welchem er die ersten Ideen über die Dampfmaschine wollte gefunden haben, und auf welches gestützt er glaubte seinen Landsleuten die Ehre der Erfindung dieser Maschine zusprechen zu können. Ehe ich die betreffende Stelle jenes Werkes näher anführe, sei es mir erlaubt, einiges über das Leben seines Verfassers zu sagen.

Salomon de Caus wurde 1576 geboren, wahrscheinlich in einer Stadt der Normandie. In seiner Jugend beschäftigte ihn besonders die Malerei, so wie das Studium der alten Sprachen und der Mathematik; eine große Vorliebe zog ihn zur Mechanik hin, und machte ihn zum Ingenieur und Architekten. Zu seiner weiteren Ausbildung besuchte er Italien und England, und trat hier in die Dienste des Prinzen von Wales. Im Auftrage des letzteren schmückte er den Garten des Palastes zu Richmond mit Grotten und Wasserkünsten. Zugleich unterrichtete de Caus als Zeichenlehrer die jugendlich schöne Prinzessin Elisabeth, Jacob I. einzige Tochter. Als diese 1613 den Pfalzgrafen Friedrich V., den späteren unglücklichen Böhmenkönig, heirathete, erlaubte sie ihrem Lehrer, sie nach Deutschland zu begleiten. Hier arbeitete er als pfalzgräflicher Architekt an der Vergrößerung des Heidelberger Schlosses, und legte bei demselben Gärten an, deren Schönheit in ganz Deutschland gepriesen wurde, bis sie, wie so vieles Andere, von seinen eigenen Landsleuten bei ihren räuberischen Einfällen in die Pfalz verwüstet wurden. Wahrscheinlich der Wunsch, die lang entbehrte Heimath, la belle France, noch einmal wiederzusehen, bestimmten de Caus (1623), seine Stelle am pfalzgräflichen Hofe aufzugeben und nach Frankreich zurückzukehren. Wie auf der Rückseite des von ihm in Heidelberg befindlichen Bildes bemerkt ist, wäre er im Jahre 1630 gestorben. Salomon de Caus.

Während seines Aufenthaltes in Heidelberg (1615) ließ de Caus bei dem Buchhändler Norton in Frankfurt ein Buch erscheinen unter dem Titel: „Die Ursachen der bewegenden Kräfte, nebst verschiedenen ebenso nützlichen als unterhaltenden Maschinen.“ Dieses Buch, welches Ludwig XIII. von Frankreich gewidmet ist, zerfällt in drei Abschnitte. In dem ersten derselben nennt der Verfasser einige Mittel, um Wasser auf eine Höhe zu heben, und beschreibt dann unter der Ueberschrift: „das Wasser kann mit Hülfe des Feuers höher als sein Spiegel getrieben werden“, folgende Vorrichtung. Eine hohle Metallkugel wird zum Theil mit Wasser gefüllt, und ein bis nahe zum Boden gehendes Rohr dicht in der Wandung derselben befestigt. so daß mit Ausnahme der oberen Mündung des Rohres die ganze Kugel fest verschlossen ist. Wird nun die Kugel dem Feuer ausgesetzt, so treiben die sich in ihr bildenden Dämpfe das eingefüllte Wasser zu dem Rohre hinaus. Einen nützlichen Zweck kann diese Vorrichtung gar nicht erfüllen, und erwähnt auch de Caus eines solchen mit keinem Worte. Trotzdem hat man fast zweihundert Jahre nach seinem Tode geglaubt, ihm wegen jener von ihm beschriebenen Vorrichtung, und zwar nur wegen dieser, eine Stelle unter den Erfindern der Dampfmaschine anweisen zu müssen. Die für de Caus erhobenen Ansprüche würden indeß wohl nur geringe Beachtung gefunden haben, wenn nicht Arago, der berühmte Physiker, ihnen seinen mächtigen Schutz hätte angedeihen lassen. Nachdem derselbe in seinem (1828) veröffentlichten Aufsatz über die Erfindung der Dampfmaschine den Apparat von de Caus eine wirkliche, zum Wasserfördern brauchbare Dampfmaschine genannt hatte, schien das Verdienst des alten normannischen Ingenieurs keinem Zweifel mehr zu unterliegen. Die warme und herrliche Begeisterung, zu welcher Arago sich, wie seine Gedächtnißreden an vielen Stellen zeigen, so leicht hinreißen läßt, wo er wirkliche Verdienste verkannt wähnt, ließ ihn sich auch mit Eifer seines Landsmannes annehmen, indem er dessen Aussprüche nicht ganz strenge getrennt hielt von seinen eigenen klaren Vorstellungen von der seitdem erfundenen Dampfmaschine.

Das Interesse für de Caus war einmal rege geworden, und da in Bezug auf ihn der streng geschichtliche Boden bereits verlassen war, so darf man sich kaum wundern, wenn es versucht wurde, ihn schließlich noch zum Märtyrer für seine angebliche Erfindung zu machen. Im November 1834 erschien in einer französischen Zeitschrift ein Brief der, vielen Männern ihrer Zeit nur zu bekannten, Marion Delorme an den Marquis von Cinq-Mars, worin sie diesem von einem Besuche erzählt, den sie in Gesellschaft des Marquis von Worcester im Bicêtre, einem Pariser Irrenhause, gemacht habe. Dort hätten sie hinter einem Gitter einen Mann gesehen mit bleichem Gesichte und wildhängendem Haar, der mit lauter Stimme behauptet habe, nicht irre zu sein, sondern eine Erfindung gemacht zu haben, um mittelst des Wasserdampfes Maschinen zu treiben und Wagen zu bewegen. Dieser Mann habe Salomon de Caus geheißen, und Richelieu, der allmächtige Minister, habe ihn dort hinbringen lassen, um vor seinem unaufhörlichen Bestürmen um Unterstützung seiner Pläne Ruhe zu haben. Dieser Brief erregte bedeutendes Aufsehen, und es wurde längere Zeit nicht bemerkt, daß er nothwendig gefälscht sein müsse. Da de Caus 1630 gestorben ist, so kann er sich 1641 nicht im Bicêtre befunden haben, welches außerdem zu jener Zeit gar kein Irrenhaus, sondern ein Aufenthalt für alte Invaliden war. Endlich hat de Caus stets in einem freundlichen Verhältniß zu Richelieu gestanden, dem

er (1624) auch eine Schrift über Sonnenuhren widmete, und bei dieser Gelegenheit dem Cardinal für erzeigte Wohlthaten dankt. Die ganze Erzählung von dem Märtyrerthum des de Caus ist als ein Märchen zu betrachten, welches die Geschichte verwerfen muß. Ehe noch die Unechtheit jenes Briefes entdeckt war, war sein Inhalt bereits als Vorwurf eines Gemäldes benutzt worden. Eine der großen Ausstellungen im Louvre zeigte ein Gemälde von Lecurieux, welches hinter Eisengittern den unglücklichen de Caus erblicken läßt, wie er den von der schönen Marion Delorme begleiteten Marquis von Worcester von der Wahrheit seiner Vorstellungen und Aussagen zu überzeugen sucht. Manchem Leser ist dieses Bild vielleicht erinnerlich durch den Holzschnitt, welchen der Gubitz'sche Volkskalender davon brachte. Die eigenthümliche Weise, in welcher man Salomon de Caus, lange nach seinem Tode, nie besessene Verdienste beilegt und wie diese ausgeschmückt und gefeiert werden, läßt recht lebhaft die Gefahr erkennen, die für geschichtliche Untersuchungen jede Berücksichtigung der Phantasie und Begeisterung in sich birgt.

Die Engländer haben sich eine andere Persönlichkeit ausgesucht, welcher sie den ehrenvollen Titel eines ersten Erfinders der Dampfmaschine geben. Bei ihnen gilt als solcher Edward Somerset, Marquis von Worcester, der unter Cromwell und zur Zeit der beiden letzten Könige aus dem Hause Stuart lebte. Das Anrecht auf jene große Erfindung wird ihm von ganz England mit überraschender Einstimmigkeit zuerkannt; die ersten Gelehrten des Landes sind hierin nicht anderer Ansicht, wie der einfache Arbeiter, dem eine Dampfmaschine seine Drehbank oder seinen Webstuhl treibt. So sagt der berühmte Professor Robison: „Die Feuermaschine wurde ohne allen Zweifel zum ersten Male von dem Marquis von Worcester erfunden, unter der Regierung Carl II.“ Und in einem Werke, welches ein Verein bedeutender englischer Ingenieure (1842) herausgab, heißt es: „Ohne allen Zweifel verdankt man der Erfindung des Marquis von Worcester die ersten Dampfmaschinen, welche einer Anwendung fähig waren.“ Sieht man nun die Thatsache näher an, auf welche hin dem Marquis so viele Anerkennung zu Theil geworden ist, so erscheint diese letztere fast räthselhaft. Worcester, der ein sehr unstetes Leben geführt hat, und in die politischen Wirren seiner Zeit tief verflochten war, trat auch mit einigen schriftstellerischen Versuchen hervor. So gab er besonders (1663) in London ein Buch heraus, in welchem er sehr flüchtig hundert Erfindungen beschreibt, welche er entweder selbst gemacht oder doch wenigstens verbessert haben will. In der acht und sechzigsten Erfindung erwähnt er einer Vorrichtung, um das Wasser mit Hülfe des Feuers auf eine Höhe zu heben. Die Beschreibung derselben ist aber so kurz und unklar, daß es bisher noch Niemandem gelungen ist, sich eine deutliche Vorstellung von derselben zu machen. Bei allen Versuchen englischer Ingenieure, den Worcester'schen Apparat durch eine Zeichnung darzustellen, mußten stets ganz fremde, von der jetzigen Dampfmaschine entlehnte Vorstellungen zu Hülfe genommen werden. Ob Worcester seine Maschine jemals ausgeführt hat, ist höchst zweifelhaft; das ihm vom Parlament bewilligte Patent wird auffallender Weise bloß auf seine Versicherung hin ertheilt, daß er die erwähnte Maschine erfunden habe. Jeder Unbefangene wird bei genauer Prüfung aller betreffenden Nachrichten eingestehen müssen, daß Worcester's Verdienste um die Dampfmaschine ganz und gar eingebildete sind. Von allen seinen Landsleuten hat dies aber nur ein einziger, Robert Stuart in seiner „Geschichte der Dampfmaschine“, öffentlich eingeräumt. Die anderen

Marquis von Worcester.

englischen Schriftsteller lassen dagegen das angebliche Verdienst Worcester's immer noch nicht fallen. So sagt neuerdings wieder Macaulay in seiner Geschichte von England: „Der Marquis von Worcester hatte kürzlich die Spannkraft einer durch Wärme dampfförmig gemachten Flüssigkeit beobachtet. Nach manchen Versuchen war es ihm geglückt, eine noch rohe Dampfmaschine zu construiren, welche er eine Feuer-Wasser-Maschine nannte, und für ein bewunderungswürdiges und kräftiges Mittel, Bewegung zu erzeugen, ausgab. Aber der Marquis wurde für einen Narren gehalten, und war als Papist bekannt. Seine Erfindungen fanden daher keine günstige Aufnahme. Seine Feuer-Wasser-Maschine möchte vielleicht als Stoff für eine Sitzung der Königlichen Gesellschaft haben dienen können, zu irgend einem praktischen Zwecke wurde sie nicht gebraucht." Wie höchst achtungswerth auch das Streben ist, das Verdienst eines Anderen hervorzuziehen und aufrecht zu erhalten, so sollte doch der Umstand, daß der Schützling ein Landsmann ist, die nationale Eitelkeit nie veranlassen, jenes Streben so weit auszudehnen, daß dadurch die geschichtliche Wahrheit beeinträchtigt wird. Hinsichtlich mancher der so genannten Erfinder der Dampfmaschine ist dies leider nur zu sehr geschehen, in Frankreich mit de Caus, in England mit Worcester. Mehrere andere Namen, die man ebenfalls versucht hat mit der Erfindung der Dampfmaschine in Verbindung zu bringen, verdienen gar nicht erwähnt zu werden.

Bis zur Mitte des siebzehnten Jahrhunderts war noch kein einziger wirklich fördernder Schritt zur Herstellung einer brauchbaren Dampfmaschine geschehen. Man wußte nur, daß die Dämpfe, welche sich in geschlossenen Gefäßen aus darin erhitztem Wasser entwickeln, eine bedeutende Spannkraft besitzen, vermöge welcher sie auf die Wände des Gefäßes einen starken Druck ausüben. Im Uebrigen wurden die Dämpfe noch immer nicht deutlich von der Luft unterschieden, und von ihren sonstigen Eigenschaften hatte man gar keine genauere Kenntniß. Indeß wurde der Wunsch, neben den schon lange allgemein verbreiteten Windmühlen und Wasserrädern noch eine neue, möglichst mächtige Kraftmaschine zu besitzen, immer lebhafter. Besonders verlangte der täglich an Ausdehnung zunehmende Bergbau dringend nach einer Maschine, welche die sich in der Tiefe sammelnden Wasser besser an die Oberfläche schaffen könne, als es die vorhandenen Maschinen vermochten. Daß dieser Zweck durch eine Benutzung der Spannkraft des Wasserdampfes erreicht werden könne, wurde von Manchen gleichsam geahnt, denen freilich die anzuwendenden Mittel noch gänzlich unbekannt waren. Es wird nach dem eben Gesagten nicht weiter auffallen, daß man bei dem Bemühen, die Dampfkraft nutzbar zu machen, anfänglich fast nur auf solche Mittel sann, welche sich bloß zur Wasserhebung eignen.

Da man zu jener Zeit schon wußte, daß eingeschlossene Dämpfe einen bedeutenden Druck ausüben können, so war auch die Möglichkeit vorhanden, gestützt auf jene Kenntniß, eine brauchbare Dampfmaschine zu erfinden. Eine solche hätte eine Hochdruckmaschine werden müssen, deren Einrichtung einfacher ist, als die aller anderen Dampfmaschinen. Indeß wurde eine derartige Maschine nicht damals, sondern erst dann erfunden, als bereits weit zusammengesetztere Dampfmaschinen bekannt und in Gebrauch waren. Auf den ersten Blick könnte dies befremden. Die Geschichte jeder Erfindung zeigt aber eine ganz ähnliche Erscheinung. Anfänglich werden immer die complicirtesten Einrichtungen und Verfahrungsweisen ersonnen, und erst aus diesen entstehen nach und nach die einfacheren und scheinbar nächstliegenden. Die Dampfmaschine hat hiervon keine

Ausnahme gemacht. Bei den ersten Maschinen dieser Art spielte die Spannkraft des Dampfes eine bloß untergeordnete Rolle, sie war nur das Mittel, um die Wirkung einer anderen Kraft, des Luftdruckes, zu ermöglichen.

Es war eine der glänzendsten Entdeckungen, welche die Physik jemals gemacht hat, als sie um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts nachwies, daß die Luft ein bestimmtes Gewicht habe und in Folge dessen auch auf alle Körper einen Druck ausübe. Diese Thatsache hatte deßhalb so lange unbemerkt bleiben können, weil die Luft jeden Körper allseitig umgiebt, und daher der von ihr ausgeübte Druck erst dann fühlbar wird, wenn es gelingt, einen Körper an einem Theile seiner Oberfläche von jenem Drucke zu befreien; bis dahin besaß man aber kein Mittel, die Luft aus einem Raume zu entfernen, ihn luftleer zu machen. Ja, man hielt dies sogar für gänzlich unmöglich. Nach einer noch aus dem Alterthume stammenden Ansicht glaubte man nämlich, die Natur habe einen unbesiegbaren Abscheu vor dem Leeren, den sogenannten horror vacui. Dieser sollte z. B. die Ursache sein, daß das Wasser in der Saugröhre einer Pumpe in die Höhe steige, indem die Natur keine Leere zwischen dem Kolben und der Wasseroberfläche im Rohre gestatte. Ein an sich höchst einfaches Ereigniß war bestimmt, diese falsche, aber durch jahrhunderte langes Bestehen mächtig gewordene Ansicht umzustoßen. Im herzoglichen Palaste zu Florenz waren neue Pumpen eingerichtet worden, die sich als unbrauchbar erwiesen, indem das Wasser in der Saugröhre nicht über 32 Fuß hoch steigen wollte, was für die Thätigkeit der Pumpen nicht genügte. Der große Galiläi wurde um die Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung befragt. Nachdem er von den Pumpenmachern erfahren hatte, daß dieselbe jedesmal eintrete, wenn das Saugrohr einer Pumpe eine zu große Länge habe, glaubte er jene Erscheinung durch die Annahme erklären zu können, daß das Gewicht einer Wassersäule von mehr als 32 Fuß Länge zu bedeutend sei, um von dem unteren Ende der Säule noch getragen zu werden. Daher reiße denn das obere Ende der Wassersäule von dem Kolben ab, ähnlich wie ein horizontal gespanntes Seil endlich durch sein eigenes Gewicht zerreiße, wenn seine Länge zu groß genommen werde. Diese Erklärung war jedoch nicht die richtige; eine solche zu finden war Torricelli vorbehalten. Als dieser in Rom von dem Vorfalle in Florenz hörte, kam ihm der glückliche Gedanke, daß es der Druck der Luft auf die Oberfläche des Wassers sei, welcher dasselbe in die Saugröhre einer Pumpe hineintreibe. Wäre seine Ansicht richtig, so schloß Torricelli, und könne der Luftdruck einer Wassersäule von 32 Fuß Höhe das Gleichgewicht halten, so müsse er einer Säule von Quecksilber das Gleichgewicht halten können, welche nahe $2^1/_3$ Fuß oder 28 Zoll hoch sei, indem ein Raumtheil Quecksilber 13,6 mal so viel Gewicht hat, als ein gleicher Raumtheil Wasser. Er füllte daher eine etwa 3 Fuß lange, an einem Ende geschlossene Glasröhre ganz mit Quecksilber, verschloß das offene Ende mit dem Finger und tauchte dasselbe so in ein Gefäß mit Quecksilber ein. Zog er nun den Finger von der Oeffnung weg, so trat ein Theil des Quecksilbers aus dem Rohre heraus, und zwar stets soviel, daß das in demselben bleibende eine Säule von 28 Zoll Höhe bildete. Ueber derselben war in der Röhre ein in Bezug auf Luft ganz leerer Raum. Torricelli sah so seine Ansicht vom Drucke der Luft glänzend bestätigt. Den Apparat, welchen er ersonnen hatte, um sich Gewißheit zu verschaffen, ist das heutzutage allgemein bekannte **Barometer**, in welchem er der Wissenschaft eines der wichtigsten Instrumente schenkte.

Entdeckung des Luftdruckes

Die neu gewonnene Erkenntniß hatte indeß noch manche Anfechtung zu erleiden. Das Vorhandensein eines luftleeren Raumes, die Möglichkeit einen solchen, wie doch Torricelli wirklich gethan hatte, herzustellen, wurde anfänglich von allen Seiten abgeleugnet. Selbst Blaise Pascal, dieser Mann von seltener Geisteskraft, wollte, als er den Torricelli'schen Versuch wiederholt hatte, die Wirkung des Luftdruckes zuerst nicht darin erkennen, sondern glaubte die Erscheinung dadurch erklären zu können, daß er annahm, die Natur habe zwar einen Abscheu vor dem Leeren, aber dieser habe eine Grenze, über welche hinaus er nicht wirken könne. Fortgesetztes Nachdenken und mannichfach abgeänderte Versuche erschütterten jedoch Pascal's anfängliche Ansicht. Endlich fand er ein geniales Mittel, um seine noch übrigen Zweifel mit einem Male zu lösen. Wenn das Gewicht der auf der Erdoberfläche ruhenden Luftmasse wirklich die Kraft wäre, welche im Barometer die 28 Zoll lange Quecksilbersäule trage, so müsse, behauptete Pascal, die Länge dieser Säule abnehmen, wenn das Barometer auf die Spitze eines Berges gebracht werde, indem auf dieser eine weniger hohe und also auch eine Luftsäule von geringerem Gewichte laste, als auf einem Orte am Fuße des Berges. Gegen diese Schlußfolge war Nichts einzuwenden, und ein betreffender Versuch daher vom höchsten Interesse. Pascal selbst konnte sich damals wegen vielfacher Geschäfte nicht von Paris entfernen, und so bat er denn in einem Briefe vom 15. November 1647 seinen Schwager Perier, eine Besteigung des 3000 Fuß hohen Puy-de-Dôme zu unternehmen, und die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer sowohl am Fuße als auf der Spitze dieses Berges genau zu messen. Nachdem die Ausführung dieses Unternehmens manche Verzögerung erlitten hatte, führte Perier endlich am 20. September 1648 jene denkwürdige Bergbesteigung aus. Die Quecksilbersäule, welche am Fuße des Berges eine Höhe von 26 Zoll $3^1/_2$ Linien hatte, stand auf der Bergspitze nur noch 23 Zoll 2 Linien hoch. Der Beweis für das Gewicht der Luft und für das Vorhandensein des Luftdruckes war somit unwiderleglich geführt, und alle Gegenrede mußte verstummen. Pascal hatte sich für seinen Lorbeerkranz ein neues Reis gepflückt.

Erfindung der Luftpumpe.

Daß ein luftleerer Raum möglich sei, war durch den Torricelli'schen Versuch dargethan. Noch aber besaß man kein Mittel, um beliebige Gefäße, deren Wandungen nur für Luft undurchdringlich sind, luftleer zu machen. Ein solches suchte Otto von Guericke, der Bürgermeister von Magdeburg. Nach langen und mühevollen Versuchen gelang es um das Jahr 1650 dem deutschen Physiker, den Apparat zu ersinnen, welcher heute unter dem Namen Luftpumpe allgemein bekannt ist, und seinem Erfinder ein ruhmvolles Andenken sichert. Von allen Versuchen, welche mit der Luftpumpe ausgeführt wurden, zog keiner so sehr die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich, als der mit den sogenannten Magdeburger Halbkugeln. Zwei starke metallene Halbkugeln werden hierbei mit ihren glatt geschliffenen und eingefetteten Rändern gegen einander gedrückt, und nun wird aus der so gebildeten Kugel die Luft ausgepumpt. Da dann im Inneren der Kugel gar kein Luftdruck mehr vorhanden ist, so preßt der Druck der äußeren Luft die Halbkugeln mit großer Kraft gegeneinander. Bei einem Versuche, welchen Otto von Guericke mit einer Kugel von einer Elle Durchmesser machte, zogen an jeder der beiden Halbkugeln zwölf Pferde, ohne im Stande zu sein, dieselben von einander zu reißen. Durch diesen Versuch war die große Mächtigkeit des Luftdruckes einem Jeden anschaulich und gleichsam fühlbar gemacht.

Mancher Leser fragt vielleicht, warum in einem Aufsatze über die Dampfmaschine die Entdeckung des Luftdruckes besprochen wird. Auf diese Frage wird das Folgende eine genügende Antwort geben, indem sich zeigen wird, daß jene Entdeckung im engsten Zusammenhange steht mit der Erfindung der Dampfmaschine. Es ist leicht begreiflich, daß, sobald einmal die Existenz und die Größe des Luftdruckes allgemeiner bekannt wurden, man in ihm die neue Triebkraft glaubte finden zu können, nach welcher man im Interesse der Industrie, und besonders des Bergbaues, so eifrig suchte. Manche Vorzüge, welche diese Kraft haben würde, lagen auf der Hand. Sie kann an jedem Orte der Erde hervorgerufen werden, wo es gelingt, einen luftleeren Raum zu erzeugen. Ihre Größe ist sehr beträchtlich, indem die Luft auf jede Fläche von 1 Quadratfuß Größe einen Druck von nahe 2000 Pfund ausübt. Aber der Luftdruck setzt, um seine Wirkung äußern zu können, einen luftleeren Raum voraus. Ein solcher konnte nun freilich mittelst der Luftpumpe hergestellt werden, allein dies Mittel würde dem beabsichtigten Zweck durchaus nicht entsprochen haben. Die Herstellung einer Luftleere auf diesem Wege erfordert nämlich eine gar noch größere Arbeit, als der durch die Luftleere in Thätigkeit gesetzte Luftdruck wieder hervorzubringen vermag. An eine Zunutzemachung des letzteren ist also hierbei nicht zu denken. Sollte dies gelingen, so mußten andere Mittel gefunden werden, um einen Raum luftleer zu machen. Diese zu entdecken wurde daher das Streben vieler der ersten Gelehrten der damaligen Zeit. Nutzbarmachung des Luftdruckes.

Während des Jahres 1673 lebte der Holländer Huygens, einer der größten Männer, welche das siebzehnte Jahrhundert hervorgebracht hat, in Paris, und war hier damit beschäftigt, eine auf den Luftdruck gegründete Kraftmaschine zu erfinden. Das Mittel, einen luftleeren Raum herzustellen, glaubte er in dem Schießpulver gefunden zu haben. Sein Apparat bestand aus einem metallnen, oben offenen und unten geschlossenen Cylinder, in welchem sich ein luftdicht schließender Kolben auf und nieder bewegen konnte. An einer oder mehreren Stellen der Cylinderwandung waren nach außen sich öffnende Ventile angebracht. Durch eine verschließbare Oeffnung konnte eine kleine Menge Pulver in den Cylinder gebracht werden. Wurde dieses nun entzündet, während der Kolben am obern Cylinderende festgehalten wurde, so trieben die sich entwickelnden Pulvergase die im Cylinder enthaltene Luft mit Heftigkeit zu den erwähnten Ventilen hinaus, worauf diese sich gleich wieder schlossen. Es gelang aber nicht, auf diese Weise eine Luftleere herzustellen, nur eine bedeutende Luftverdünnung konnte in dem Cylinder hervorgebracht werden. Diese veranlaßte zwar den äußeren Luftdruck, den Kolben mit einer gewissen Kraft in dem Cylinder niederzutreiben, aber der ganze Apparat hatte doch manche nicht zu beseitigende Mängel, welche ihn für praktische Verwendungen ungeeignet machten. Pulvermaschine.

Bei diesen Versuchen wurde Huygens von einem jungen Manne unterstützt, dem es vorbehalten war, in späteren Jahren das Mittel zur Wirksammachung des Luftdruckes zu finden, nach welchem sein großer Meister vergeblich suchte. Dieses Mittel bestand in einer ganz neuen Anwendung des Wasserdampfes, und der Mann, welcher durch die Entdeckung desselben seinen Namen für alle Zeiten fortleben machte, war Denis Papin. Derselbe war den 22. August 1647 zu Blois geboren, wo sein Vater Arzt war. Diesem Stande widmete sich auch der Sohn, über dessen Kindheit und Jugend indessen Nichts bekannt ist. Mit vier und zwanzig Jahren finden Denis Papin.

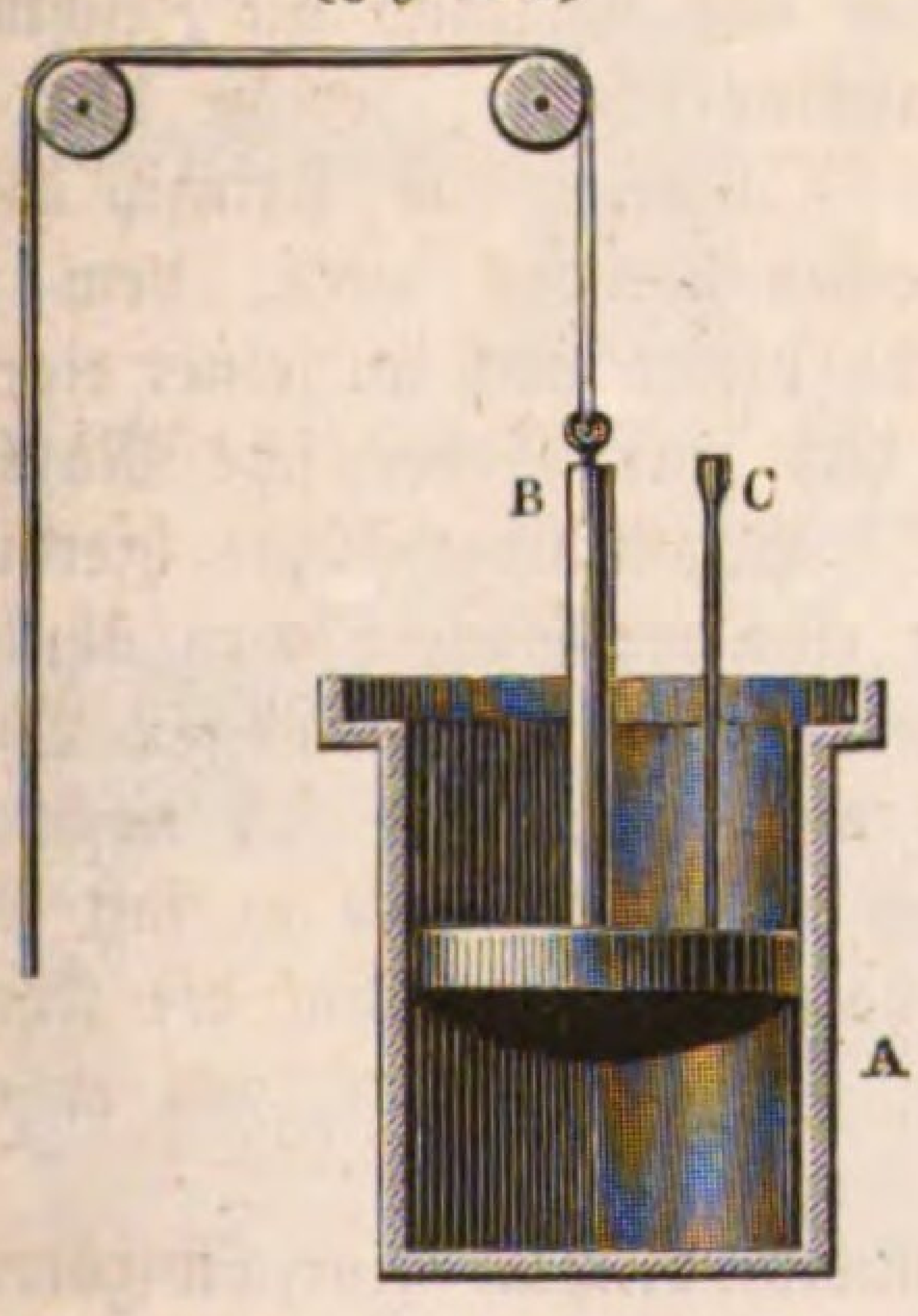
wir Papin in Paris, seinen Beruf ausübend. Diesem wurde er jedoch bald untreu, und wandte sich ganz der Experimental-Physik und der praktischen Mechanik zu. Die Frau des Ministers Colbert, deren Vaterstadt ebenfalls Blois war, erbat Papin die Gunst, Huygens bei seinen Versuchen unterstützen zu dürfen. Eine kleine Schrift, die er um diese Zeit herausgab, verschaffte ihm die Achtung und Theilnahme der Gelehrten der französischen Hauptstadt. Es ist daher höchst auffallend und auch nicht weiter aufgeklärt, Papin zu Ende des Jahres 1675 plötzlich Paris verlassen und sich nach England wenden zu sehen. Hier angekommen hatte er den glücklichen Gedanken, sich Robert Boyle, dem berühmten Gründer der Königlichen Gesellschaft in London, vorzustellen. Boyle war damals gerade mit mannichfachen den Luftdruck betreffenden Versuchen beschäftigt, so daß es ihm sehr erwünscht war, in Papin einen ebenso einsichtsvollen als thätigen Mitarbeiter zu finden. Bei den Versuchen, welche nun von Boyle und Papin in den Jahren 1676, 77 und 78 gemeinschaftlich ausgeführt wurden, war besonders Papin's geschickte Hand bei Anfertigung der verschiedensten Apparate von großem Werth. Seine Verdienste blieben denn auch nicht ungewürdigt und unbelohnt. Am 16. Dezember 1680 öffneten sich ihm die Thüren der Königlichen Gesellschaft in London, in welcher er sich bald eine geachtete Stellung errang. Im Jahre 1681 gab Papin eine Schrift über den von ihm erfundenen und nach ihm benannten Topf heraus. Dieser sollte dazu dienen, Fleisch in kurzer Zeit zu kochen, und es ermöglichen, auch aus den Knochen noch eine nahrhafte Substanz zu gewinnen. Ziemlich allgemein wird geglaubt, daß diese Erfindung Papin's gleichsam der erste Schritt zu seiner späteren, die Dampfmaschine betreffenden Entdeckung sei. Diese Ansicht ist jedoch irrig. Papin dachte damals noch gar nicht daran, die Eigenschaften des Wasserdampfes für eine Kraftmaschine zu benutzen.

Um diese Zeit hielt sich in London der Ritter Sarroti auf, welcher vom Senate Venedig's beauftragt war, in der alten Dogenstadt eine Academie zu errichten und Mitglieder für dieselbe zu gewinnen. Den großen Versprechungen des Italieners lieh Papin ein wohl zu geneigtes Ohr, und ließ sich von ihm bestimmen, im Frühjahr 1681 nach Venedig überzusiedeln. Papin war aus sehr günstigen Verhältnissen ausgeschieden, um in noch bessere zu gelangen. Leider hatte er sich hierin getäuscht. Wenn auch sein wissenschaftlicher Ruf in Italien noch wuchs, so nahmen seine äußeren Mittel doch mehr und mehr ab. Dies veranlaßte ihn, nach einem zweijährigen Aufenthalte Venedig wieder zu verlassen und nach London zurückzukehren. Sein Empfang war hier jedoch nicht so, wie er ihn wohl erwartet hatte. Die Theilnahme seiner Freunde war während seiner Abwesenheit in solchem Maße erkaltet, daß er sich genöthigt sah, von der Königlichen Gesellschaft ein Jahrgehalt anzunehmen, wofür er in deren Auftrage Versuche auszuführen hatte. In dieser Zeit beschäftigte ihn besonders der Gedanke, den Luftdruck zur Fortpflanzung der Wasserkraft auf größere Entfernungen zu benutzen. Versuche, welche Papin mit seinem Apparate vor der Königlichen Gesellschaft anstellte, entsprachen indeß den gehegten Erwartungen nicht, sondern wurden nur die Veranlassung, daß sich des Erfinders eine gewisse Entmuthigung bemächtigte. Papin wünschte nach so mannichfachen Schicksalen nach Frankreich zurückzukehren, aber ihm, dem Reformirten, war sein Heimathland verschlossen, seit Ludwig XIV. in thörigtem Wahne das Edict von Nantes vernichtet hatte. So mußte er sich denn entschließen, auch ferner im Auslande eine gastliche

Stätte zu suchen. Da ihm der Aufenthalt in England verleidet war, so nahm er gern das Anerbieten, als Professor der Mathematik nach Marburg zu kommen, an, welches ihm der Landgraf Carl von Hessen (1687) machte. In Marburg verlebte Papin die nächsten zwanzig Jahre. Anfänglich beschäftigte ihn hier nochmals die Pulvermaschine, über welche er viele Jahre vorher die schon oben erwähnten Versuche in Gemeinschaft mit Huygens angestellt hatte. Während er sich wiederholt überzeugte, daß von derselben Nichts zu hoffen sei, kam ihm ein ganz neuer Gedanke, wie auf bessere Weise ein luftleerer Raum hergestellt werden könne.

Aus fremden und eigenen Erfahrungen war es Papin bekannt, daß es leicht ist, die Spannkraft des Wasserdampfes bis zu dem Grade zu steigern, daß dieselbe dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag. Diese Fähigkeit besitzt schon der Dampf, welcher sich aus siedendem Wasser entwickelt. Ebenso leicht aber, wie sich dem Dampfe Spannkraft ertheilen läßt, kann dieselbe auch wieder vollständig vernichtet werden, indem der Dampf durch Abkühlung in Wasser zurück verwandelt wird. Ob diese Eigenschaft des Wasserdampfes von Papin zuerst beobachtet wurde, ist wohl schwer zu entscheiden. Jedenfalls war er aber der Erste, welcher mit wirklich genialem Blicke erkannte, wie jene Eigenschaft zur Erzeugung einer Luftleere, und weiter zur Construktion einer Kraftmaschine benutzt werden könne. Der Aufsatz, in welchem Papin seine Idee darlegte und seine betreffenden Versuche mittheilte, erschien im Jahre 1690 im Augusthefte der Acta eruditorum Lipsiae unter der Ueberschrift: „Neues Verfahren, um bedeutende bewegende Kräfte zu billigem Preise zu erhalten.“ In demselben sagt Papin, nachdem er die Unzweckmäßigkeit der Pulvermaschine besprochen hat: „Ich habe daher versucht, auf einem andern Wege zu demselben Resultate zu gelangen. Da, wegen einer dem Wasser zukommenden Eigenschaft, eine kleine Menge dieser Flüssigkeit, wenn sie durch die Wirkung der Wärme in Dampf verwandelt wird, eine Spannkraft erhält, welche der der Luft gleichkommt, und hierauf durch die Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehrt, ohne das Geringste von ihrer Spannkraft zu behalten, so bin ich darauf geführt worden zu glauben, daß man Maschinen construiren könnte, bei welchen das Wasser, durch Anwendung einer mäßigen Wärme und ohne große Kosten, die vollkommene Luftleere hervorbringen würde, welche man mit Hülfe des Schießpulvers nicht erhalten kann.“ Papin beschreibt nun folgenden Apparat, mit welchem er seine Versuche angestellt hat. In einem unten geschlossenen, oben offenen metallnen Cylinder A, Fig. 199, bewegt sich ein dicht anschließender Kolben. In diesem befindet sich eine Oeffnung, welche durch Einschrauben der Stange C geschlossen werden kann. Mit dem Kolben ist die Stange B verbunden, von welcher aus ein über zwei Rollen geführtes Seil geht. Am oberen Ende des Cylinders kann der Kolben durch Vorschieben eines in die Stange B eingreifenden Riegels festgehalten werden. Soll nun der Apparat in Thätigkeit gesetzt werden, so wird durch die Oeffnung im Kolben eine

(Fig. 199.)



kleine Menge Wasser in den Cylinder geschüttet, und der Kolben soweit niedergedrückt, daß etwas Wasser aus jener Oeffnung heraustritt, worauf dieselbe mittelst der Stange C fest verschlossen wird. Wenn jetzt durch ein Kohlenfeuer der Cylinderboden erwärmt wird, so treiben die sich bildenden Dämpfe den Kolben in die Höhe. Ist derselbe oben angekommen, so wird er durch den erwähnten Riegel festgehalten und das Kohlenfeuer entfernt. Die nun stattfindende Abkühlung des Cylinders vernichtet die Spannkraft der in ihm enthaltenen Dämpfe, indem sie dieselben in Wasser verwandelt. Die untere Fläche des Kolbens erfährt dann keinen Druck mehr, während auf der oberen Fläche die Luft mit ihrem ganzen Gewichte lastet. Wird daher jetzt der den Kolben festhaltende Riegel zurückgeschoben, so wird jener durch den Luftdruck durch die ganze Länge des Cylinders hinab bewegt. Hierbei kann nun durch einen gleich langen Weg ein an das Seil angehängtes Gewicht in die Höhe gehoben werden, dessen Größe nahe gleich ist dem auf den Kolben wirkenden Luftdruck. Da der letztere pro Quadratfuß nahe 2000 Pfund beträgt, so kann z. B. bei einem Cylinder von 2 Fuß Durchmesser und 5 Fuß Höhe bei jedem Kolbenniedergang ein Gewicht von etwa 6000 Pfund 5 Fuß hoch gehoben werden. Ist der Kolben unten angelangt, so beginnt das Spiel von Neuem; das Wasser muß wieder in Dampf verwandelt, dieser dann abgekühlt werden, u. s. w.

Die Richtigkeit und Vortheilhaftigkeit des Prinzips, auf welchem der Papin'sche Apparat beruht, kann nicht angegriffen werden. Bei einer ganz geringen, gefahrlosen Dampfspannung ist man im Stande, eine fast beliebig große Kraft hervorzubringen, indem man nur dem Cylinder einen entsprechend großen Durchmesser zu geben braucht. Dennoch fand Papin's Vorschlag fast gar keine Beachtung. Es kam dies wohl hauptsächlich daher, weil sein Urheber für seine Idee gleichsam noch keinen passenden Körper gefunden hatte. Der Apparat, wie ihn Papin angab, war noch lange nicht ausgebildet genug, als daß die Industrie sich seiner hätte bedienen können. Für diese wird jede von der Wissenschaft gemachte Entdeckung erst dann wirklich fruchtbringend, wenn es gelingt, auch noch die Mittel aufzufinden, wodurch jene eine praktisch vortheilhafte Verwendung zuläßt. Das Scheitern der Hoffnung, welche Papin auf seine Erfindung gesetzt hatte, wirkte so niederschlagend auf ihn, daß er alle weiteren Versuche über die Nutzbarmachung der Dampfkraft aufgab. Erst im Jahre 1705 kehrte er wieder zu diesem Gegenstande zurück. Veranlaßt dazu wurde er von Leibnitz, der ihm aus England die Zeichnung einer die Dampfkraft nutzbar machenden Maschine schickte, welche dort ein Kapitain Savery vor Kurzem erfunden hatte. Obgleich das Prinzip dieser Maschine, von der weiter unten noch gesprochen werden wird, dem von Papin entdeckten bei weitem nachsteht, so wurde dieser doch an seiner eigenen trefflichen Erfindung durch den Umstand irre, daß jene Savery'sche Maschine in England einige Anwendung gefunden hatte. Papin überschätzte hierdurch die Brauchbarkeit derselben, und brachte sogar eine der Savery'schen ähnliche Maschine in Vorschlag. Widrige Schicksale mancherlei Art bewogen Papin im Jahre 1707 seine Stellung in Marburg aufzugeben und sich nochmals nach London zu wenden. Hier lebte er noch mehrere Jahre in fast ärmlichen Verhältnissen von einem kleinen Jahrgehalte, welches ihm die Königliche Gesellschaft gewährte. Sein Todesjahr, sowie der Ort, wo er eine Ruhestätte gefunden, sind nicht bekannt.

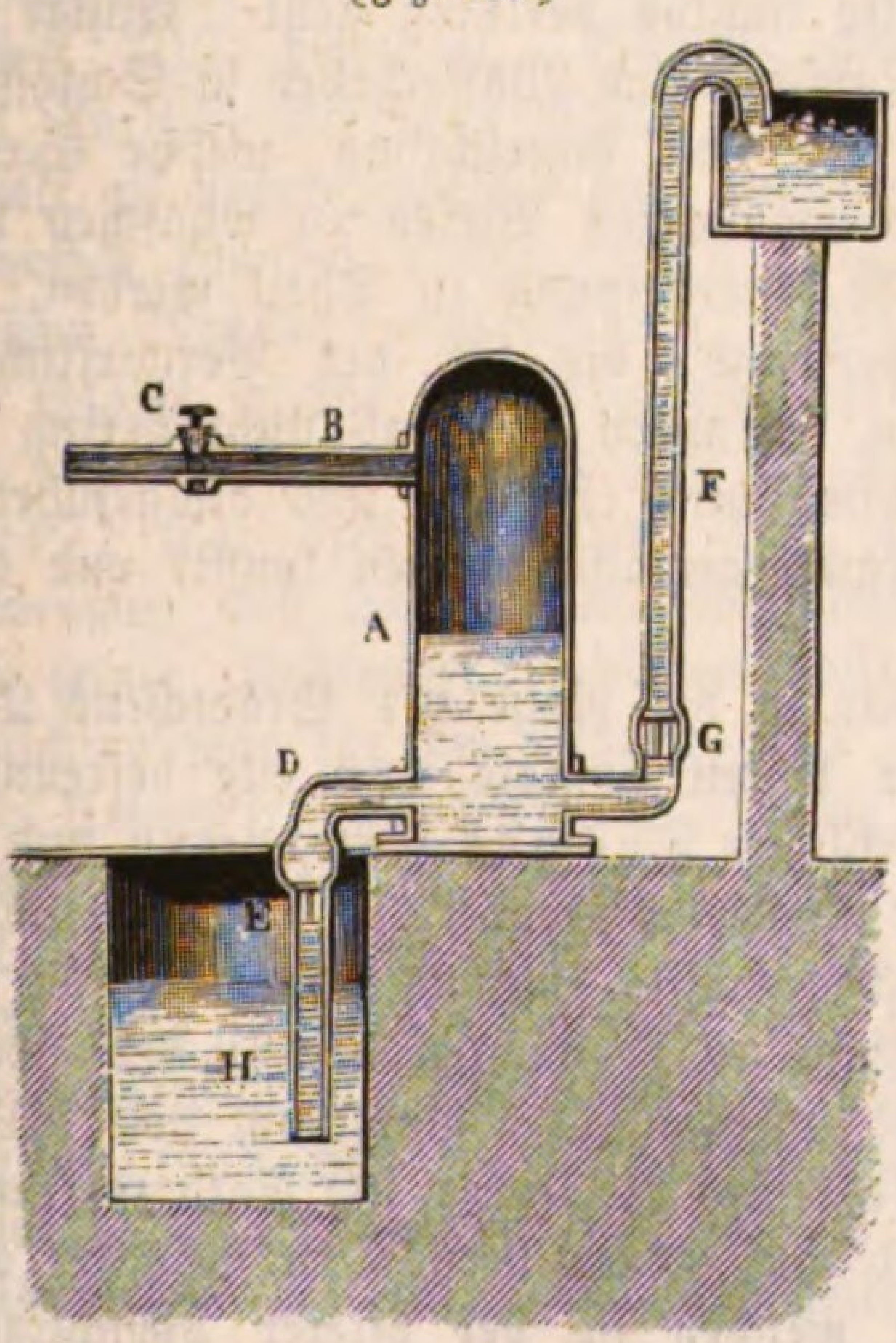
Papin war unstreitig ein Mann von unermüdlichem Forschungstriebe

und dem regsten Eifer, durch seine Arbeiten Nützliches zu schaffen. Mit sicherem Blicke, wie er nur dem Genie eigen ist, fand er das Mittel, welches ihn hätte zu dem erstrebten Ziele hinführen können. Daran, daß er dieses dennoch nicht vollständig erreichte, ist wohl eine gewisse Unbeständigkeit seines Wesens, und dann auch hauptsächlich der Umstand Schuld, daß es ihm nicht vergönnt war, in seinem Vaterlande eine ruhige und gesicherte Stellung einzunehmen.

Savery's Maschine.

Während Papin in Marburg mit der Erfindung einer neuen Kraftmaschine beschäftigt war, wurde die Nothwendigkeit, eine solche zu erhalten, in England immer dringender. Hier war die Ausbeute vieler Kohlengruben, und in Folge dessen das Aufblühen mancher Gewerbszweige ernstlich gefährdet, wenn es nicht gelang, ein neues und zweckmäßiges Mittel zu finden, die in England besonders reichlichen Grubenwasser an die Oberfläche zu schaffen. Mit der Aufsuchung eines solchen beschäftigte sich seit längerer Zeit Thomas Savery, der sich vom einfachen Bergmann zum Marinekapitain und Ingenieur heraufgeschwungen hatte. Die Papin'schen Vorschläge waren bald nach ihrer Veröffentlichung auch in England bekannt geworden, hatten sich hier aber keiner günstigen Beurtheilung zu erfreuen. Besonders war es Robert Hooke, der berühmte Gelehrte und Secretär der Königlichen Gesellschaft, welcher seine gewichtige Ansicht zu ihren Ungunsten in die Wagschale warf. Er tadelte hauptsächlich und mit Recht die gänzlich unpraktische Anordnung, welche Papin seinem Apparate gegeben hatte, und die hierdurch bedingte außerordentliche Langsamkeit der Bewegung der Maschine. Der Kolben konnte sich nämlich in der Minute höchstens einmal auf und nieder bewegen. Ueber der Kritik dieser Fehler, deren Beseitigung einem Manne von praktischem Blick nicht schwierig gefallen wäre, verlor Hooke das große von Papin gefundene Prinzip aus den Augen. Auf Savery, dem Papin's Arbeit bekannt war, übten die Hooke'schen Einwürfe einen solchen Einfluß, daß er einen zum Theil anderen Weg einschlug, um durch Benutzung der Spannkraft des Dampfes Wasser auf eine Höhe zu heben. Der hierzu von Savery erfundene Apparat hat im Wesentlichen folgende Einrichtung. A, Fig. 200, ist ein starkes metallnes Gefäß, in welches aus einem Dampfkessel durch das Rohr B Dämpfe eingeleitet werden können; der Hahn C dient dazu, die Verbindung zwischen dem Gefäße A und dem Dampfkessel beliebig zu unterbrechen und wieder herzustellen. In das Gefäß A mündet ferner noch ein Saugrohr D und ein Steigrohr F; ersteres hat bei E ein sich nach innen, letzteres bei G ein sich nach außen öffnendes Ventil. Die untere Oeffnung des Saugrohrs D befindet sich unter der Oberfläche des Wassers, welches gehoben werden soll. Es sei nun

(Fig. 200.)



das Saugrohr und der größere Theil des Gefäßes A mit Wasser gefüllt. Läßt man dann durch das Rohr B Dampf in A einströmen, so wird dieser, wenn er die erforderliche Spannkraft hat, das Ventil E schließen und das in A befindliche Wasser durch das Ventil G und das Steigrohr F hinaustreiben. Ist das Wasser in A soweit gesunken, daß die Oeffnung des Rohres F noch eben bedeckt wird, so schließt man den Hahn C; das Gefäß A ist jetzt mit Dampf gefüllt. Geht derselbe nun durch Abkühlung in Wasser über, so entsteht in A ein luftleerer Raum. Hierdurch wird der äußere Luftdruck gezwungen, aus dem Behälter H wieder neues Wasser durch das Saugrohr in das Gefäß A hineinzutreiben. Läßt man jetzt wieder Dampf zutreten, so wiederholt sich der ganze eben beschriebene Vorgang. Die Abkühlung des Dampfes bewirkte Savery dadurch, daß er kaltes Wasser auf das Gefäß A fließen ließ.

Am 25. Juni 1698 erhielt Savery ein Patent auf seine Maschine, und hatte in demselben Jahre noch die Ehre, in Hamptoncourt einen Versuch mit derselben vor Wilhelm III. anstellen zu dürfen. Der Königlichen Gesellschaft in London zeigte er seine Maschine am 14. Juni 1699. Nachdem Savery an seinem Apparate noch einige Verbesserungen angebracht hatte, beschrieb er denselben in einer kleinen Schrift, welche (1702) unter dem Titel erschien: „Der Freund des Bergmannes.“ Für die Zwecke des Bergbaues war indessen die Savery'sche Maschine wegen der ihr anhaftenden Mängel nicht zu gebrauchen. Ein Hauptübelstand ist der, daß die Spannung des Dampfes mit der Höhe, auf welche das Wasser gehoben werden soll, in direktem Verhältniß zunehmen muß. Sollte das Wasser nur 60 Fuß hoch gehoben werden, so mußte der Dampf auf jedem Quadratfuß mit 4000 Pfund drücken, ein Druck, der bei der damaligen Unvollkommenheit der Apparate nicht überschritten werden durfte. Auch der Abstand der Wasserspiegel in den Gefäßen A und H darf höchstens 25 Fuß betragen. Ein anderer schlimmer Fehler besteht darin, daß der Dampf in unmittelbare Berührung mit dem zu hebenden kalten Wasser kommt, wodurch ein großer Theil desselben verdichtet wird und also nutzlos verloren geht. Einige Anwendung fand jedoch die Savery'sche Maschine zum Wasserheben in Schlössern, Treibhäusern und Gärten. — Wenn auch die Einrichtung, welche Savery seiner Maschine gegeben, und ihre Anwendbarkeit Vieles zu wünschen ließ, so muß doch dafür ihrem Erfinder volle Anerkennung zu Theil werden, daß er die bedeutenden Schwierigkeiten überwand, die sich der Verwirklichung eines neuen Gedankens entgegen stellen. Savery hat das nicht gering anzuschlagende Verdienst, die erste Dampfmaschine erfunden und ausgeführt zu haben, von welcher ein nützlicher Gebrauch gemacht werden konnte und auch wirklich gemacht wurde.

Newcomen's Maschine.

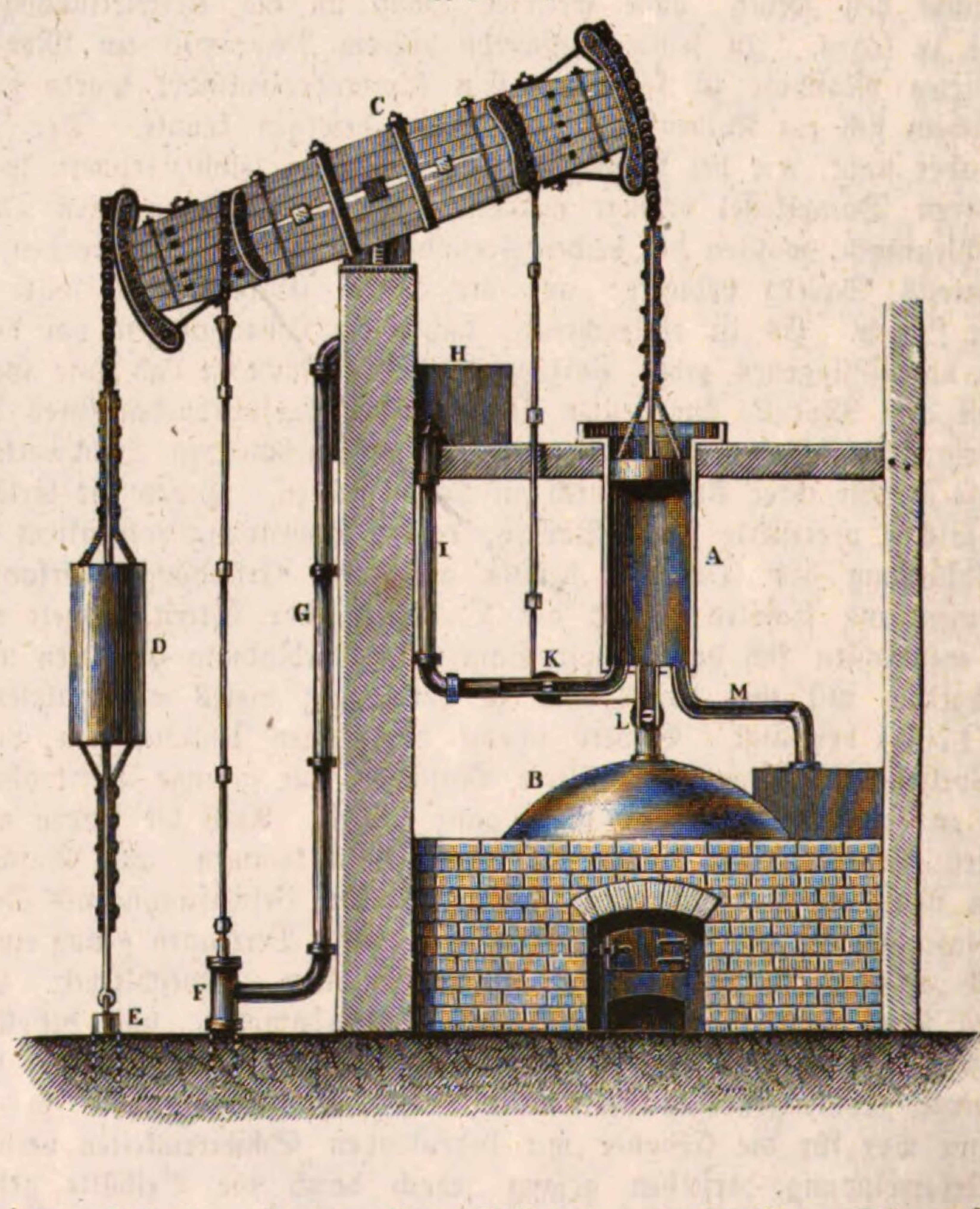
Eine von Savery's Maschinen war in die Nähe des Städtchens Darmouth in Devonshire gekommen. Hier lebten damals zwei eng befreundete biedere Handwerker, der Schmied und Schlosser **Thomas Newcomen** und der Glaser **John Cawley**. Wenn sie ihr Tagewerk beendet und ihre Werkstätten geschlossen hatten, wanderten jene Beiden häufig zusammen hinaus, um die Thätigkeit der ihnen ganz neuen Maschine zu beobachten und zu bewundern. Newcomen besaß einige Kenntnisse, und pflegte als Landsmann von Robert Hooke diesen zuweilen über Gegenstände seines Gewerbes um Rath zu fragen. Daher forderte Cawley seinen Freund auf, dem berühmten Physiker auch verschiedene Ansichten mitzutheilen, zu welchen sie bei öfterer Besichtigung

und Besprechung der Savery'schen Maschine gelangt waren. Während des Briefwechsels, welcher hierüber zwischen Newcomen und Hooke entstand, theilte dieser jenem die Ideen über die Anwendung des Wasserdampfes mit, welche Papin im Jahre 1690 zuerst veröffentlicht hatte. Diese Vorschläge des französischen Gelehrten fanden bei den beiden Freunden die lebhafteste Theilnahme, und sie glaubten im Stande zu sein, dieselben verwirklichen zu können. Hooke rieth auch diesmal wieder von weiteren Versuchen mit dem Papin'schen Apparate ab; zuletzt gab er jedoch zu, daß derselbe den beabsichtigten Zweck erfüllen würde, wenn es gelänge, die Luftleere im Cylinder schneller hervorzubringen. Die Einwendungen des berühmten Gelehrten machten jedoch auf die ehrsamen Meister keinen großen Eindruck, vielleicht weil ihre wissenschaftlichen Kenntnisse zu unbedeutend waren. Zu beklagen war dies in diesem Falle nicht, denn dadurch verloren die beiden Freunde auch nicht den Muth, ohne weiteres Hand an die Verwirklichung ihres Planes zu legen. In seiner Schmiede begann Newcomen ein Modell der projectirten Maschine zu fertigen. Ein kupferner Cylinder wurde gemacht, in welchem sich ein Kolben auf und nieder bewegen konnte. Der Dampf sollte aber nicht, wie bei Papin, in dem Cylinder selbst, sondern in einem besonderen Dampfkessel erzeugt werden. Um die Abkühlung des Dampfes zu beschleunigen, wollten die beiden Freunde dasselbe Mittel anwenden, dessen sich bereits Savery bediente: auf die äußere Cylinderwand sollte kaltes Wasser fließen. Es ist einleuchtend, daß diese Einrichtungen vor den von Papin vorgeschlagenen große Vorzüge besitzen. Nachdem das gute Gelingen der mit dem Modelle angestellten Versuche die Ausführbarkeit ihres Planes zu versprechen schien, wollten die beiden unternehmenden Handwerker sich auch die Früchte ihrer Arbeit durch ein Patent sichern. Gegen die Ertheilung eines solchen protestirte jedoch Savery, da die Anwendung von kaltem Wasser zur Abkühlung des Dampfes bereits als seine Erfindung anerkannt sei. Newcomen und Cawley, denen als Quäkern jeder Streit doppelt verhaßt war, entschlossen sich daher, mit Savery in Verbindung zu treten und gemeinschaftlich mit ihm ein Patent zu verlangen; dieses wurde ihnen denn auch (1705) bewilligt. Savery scheint dem neuen Unternehmen, vielleicht aus Vorliebe für seine eigene ältere Maschine, nur geringe Theilnahme geschenkt zu haben, welche bald sogar ganz erlosch. Auch die beiden anderen Genossen konnten einige Jahre lang nicht dazu kommen, ihre Maschine in großem Maßstabe auszuführen. Ihre gewöhnliche Beschäftigung als Schlosser und Glaser mochte den Grubenbesitzern wohl nicht Vertrauen genug einflößen, um sich zu einem Versuche mit der neuen Erfindung zu entschließen. Endlich (1712) that dies ein Herr Back aus Wolverhampton, und bestellte bei Newcomen und Cawley eine Maschine, welche zum Bewältigen der Wasser auf seiner Kohlengrube dienen sollte. Die Herstellung einer so großen Maschine war für die Erbauer mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Die Ueberwindung derselben gelang jedoch durch die Beihülfe geschickter Arbeiter; die fertige Maschine wurde an dem für sie bestimmten Orte aufgestellt und begann ihre Thätigkeit. Nachdem sie einige Tage gegangen hatte, fing der Kolben plötzlich an, seinen Niedergang in bedeutend kürzerer Zeit auszuführen. Als man nach der Ursache dieser auffallenden Erscheinung forschte, fand man im Kolben ein kleines Loch, welches jenes günstige Resultat veranlaßt hatte. Um nämlich ein Entweichen des Dampfes zwischen Kolben und Cylinder, welche Theile damals nur unvollkommen hergestellt

werden konnten, möglichst zu verhüten, hatte man den Kolben mit einer Schicht Wasser bedeckt. Dieses drang nun durch jenes Loch tropfenweise in den Cylinder hinein und beförderte in sehr wirksamer Weise die Abkühlung des Dampfes. Von dieser zufällig gemachten Erfahrung wußten die Erfinder gleich die richtige Anwendung zu machen. Anstatt von außen Wasser auf den Cylinder zu gießen, spritzten sie dasselbe von jetzt an in denselben hinein. Nach dieser wesentlichen Verbesserung war die Maschine im Stande, 8 bis 10 Kolbenspiele in der Minute zu machen.

Eine Maschine der besprochenen Art, gewöhnlich kurz eine Newcomen'sche Maschine genannt, hat nun im Wesentlichen folgende Einrichtung. Zwischen horizontal liegenden Balken ist ein oben offener Cylinder A fest aufgehängt, Fig. 201. Unmittelbar unter demselben, und durch ein Rohr mit ihm in

(Fig. 201.)



Verbindung stehend, ist der Dampfkessel B angebracht. Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens wird auf das Pumpengestänge E vermittelst eines starken Balanciers C übertragen. An diesen sind das Pumpengestänge und die Kolbenstange mittelst Ketten angehängt. Die Biegsamkeit derselben macht es nöthig, ein großes Gewicht D anzubringen, welches beim Aufgange des Kolbens die nöthige Drehung des Balanciers bewirkt. Eine kleine Pumpe F hebt das zur Verdichtung des Dampfes erforderliche

Wasser in den Behälter H, aus welchem dasselbe durch das Rohr I in den Cylinder gelangen kann. Der Mündung dieses Rohres in den Cylinder giebt man gewöhnlich die Form einer Brause, wodurch das Abkühlungswasser als ein feiner Regen in den Cylinder eingespritzt wird. Das Rohr M hat den Zweck, das sich im Cylinder sammelnde Wasser aus demselben fortzuschaffen. Vermittelst der beiden Hahnen L und K kann der Zufluß des Dampfes und des Abkühlungswassers beliebig unterbrochen und wieder hergestellt werden.

Befindet sich der Kolben am untern Ende seines Laufes, so wird der Hahn K geschlossen, L dagegen geöffnet, so daß Dampf in den Cylinder treten kann. Hat derselbe die gleiche Spannung wie die äußere Luft, so braucht das Gewicht G bloß die Reibung zwischen dem Kolben und dem Cylinder zu überwinden, um den Aufgang des Kolbens zu bewirken. Wenn dieser oben angekommen ist, wird L geschlossen, aber gleichzeitig K geöffnet; das Abkühlungswasser tritt nun in den Cylinder ein, und veranlaßt in demselben die Bildung eines nahe luftleeren Raumes. Der hierdurch zur Thätigkeit gelangende äußere Luftdruck bewirkt jetzt mit einer Kraft, welche für jeden Quadratfuß des Cylinderquerschnittes etwa 2000 Pfund beträgt, den Niedergang des Kolbens. Zugleich wird das Gestänge E durch eine dem Kolbenlaufe gleiche Strecke bewegt, und die hierdurch in Gang kommenden Schachtpumpen schaffen eine gewisse Menge Grubenwasser an die Oberfläche.

Das abwechselnde Oeffnen und Schließen der Hähne K und L wurde anfänglich von einem Arbeiter verrichtet. Einem Knaben, den man damit eines Tages beauftragt hatte, scheint die einförmige Beschäftigung wenig zugesagt zu haben. Die munteren Spiele seiner Genossen zogen ihn mehr an, als das langsame Hin- und Herschaukeln des Balanciers. Und doch durfte sich der kleine Ungeduldige keinen Augenblick von seinem Posten entfernen, wenn die Maschine nicht stille stehen, und so seine Abwesenheit verrathen sollte. Allein die Noth macht erfinderisch, und bald hatte Humphry Potter, der junge Maschinenwärter, das Mittel gefunden, sich unbemerkt die ersehnten Freistunden zu verschaffen. Er erkannte, daß die Stellungen der beiden Hahnen einen ganz festen Bezug besitzen zu den Stellungen des Balanciers, daß nämlich der Hahn L gerade dann geöffnet, und der Hahn K geschlossen werden muß, wenn das rechte Ende des Balanciers seine tiefste Stellung erreicht hat; daß hingegen bei der höchsten Stellung desselben die entgegengesetzten Bewegungen der Hahnen geschehen müssen. Hieraus schloß Potter mit Recht, daß der Balancier das Oeffnen und Schließen der Hahnen ebensogut besorgen könne, als er selbst, wenn es nur gelänge, demselben diese neue Arbeit aufzuladen. Nach mancherlei Versuchen gelang es ihm endlich, durch Schnüre die Hahnen mit dem Balancier so in Verbindung zu setzen, daß der beabsichtigte Zweck erreicht wurde. Durch diese Befreiung von der unausgesetzten Leitung des Wärters machte die Dampfmaschine wieder einen bedeutenden Schritt vorwärts (1713); sie erhielt dadurch eine gewisse Selbstständigkeit, welche die Regelmäßigkeit und Sicherheit ihrer Bewegungen sehr erhöhte. Im Jahre 1718 erbaute der Ingenieur Beighton eine Newcomen'sche Maschine, bei welcher er mit den Hahnen kleine Hebel verband, die durch lange, an den Balancier angehängte Stangen bewegt wurden. Dieser solidere Mechanismus erfüllte natürlich seinen Zweck noch besser, als es die bisher angewandten Schnüre hatten thun können. Die so verbesserte Maschine konnte in der Minute 15 Kolbenspiele machen.

Bei der Newcomen'schen Maschine spielt der Dampf freilich noch eine

untergeordnete Rolle; die eigentlich bewegende Kraft ist bei ihr der Luftdruck, weßhalb sie häufig auch atmosphärische Maschine genannt wird. Der Dampf dient hier nur dazu, die Thätigkeit des Luftdruckes zu ermöglichen. Ferner ist diese Maschine eine sogenannte einfach wirkende, weil sie eine eigentliche Arbeit nur während des Kolbenniederganges leistet, sich während des Kolbenaufganges aber leer bewegt. Obgleich auch die Newcomen'sche Maschine noch keine allgemeine, für alle Gewerbzweige brauchbare Kraftmaschine ist, sondern sich mit Vortheil nur zum Wasserheben anwenden läßt, so besitzt sie vor der Savery'schen Maschine doch wesentliche Vorzüge. Man kann mit ihr bei einer und derselben geringen Dampfspannung Wasser aus jeder beliebigen Tiefe heben, indem sich die in jedem einzelnen Falle erforderliche Kraft dadurch erlangen läßt, daß man dem Dampfcylinder einen entsprechenden Durchmesser giebt. Die Newcomen'sche Maschine kann daher zum Heben der Grubenwasser wirklich gebraucht werden, und verbreitete sich in Folge dessen auch in England rasch und allgemein. Man begrüßte in ihr das langersehnte Mittel, den Kohlenbergbau, diese mächtige Stütze der gesammten Industrie von Großbritannien, in ungestörter und immer ausgedehnterer Weise betreiben zu können.

Aufbau der Wärmelehre.

So trugen denn die glänzenden Entdeckungen, welche Torricelli, Pascal und Otto von Guericke über den Luftdruck gemacht hatten, der Industrie bereits ihre ersten, sehr werthvollen Früchte. Der glückliche Gedanke, welcher Papin in dem Wasserdampfe das geeignete Mittel erkennen ließ, das Gewicht der Atmosphäre nutzbar zu machen, hatte in der Newcomen'schen Maschine seine praktische Verwirklichung gefunden. Hiermit waren aber auch die bis zu jener Zeit von der Wissenschaft gemachten neuen Entdeckungen, welche zur Erfindung einer neuen Kraftmaschine beitragen konnten, gleichsam ausgebeutet und vernutzt. Ehe nun weiter aus der atmosphärischen die eigentliche Dampfmaschine, d. h. eine Maschine hervorgehen konnte, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes die ausschließlich bewegende Kraft ist, mußten erst die noch sehr unvollkommen bekannten Eigenschaften des Wasserdampfes näher erforscht werden. Da diese aber mit den Wirkungen der Wärme auf das engste zusammenhängen, so konnten Untersuchungen über sie zunächst noch gar nicht vorgenommen werden. Denn bis zum Ende des siebzehnten Jahrhunderts waren zu einem Aufbau der Wärmelehre noch kaum die ersten Schritte geschehen. Erst um diese Zeit fing der französische Physiker Amontons an, den besonders von Baco von Verulam so unablässig empfohlenen Weg der Erfahrung auch bei Erforschung der Wärmeerscheinungen zu betreten. Er erkannte, daß die Temperatur des in einem offenen Gefäß erhitzten Wassers nicht ferner steigt, sobald dasselbe zu sieden begonnen hat. Auch sprach er bereits die Ansicht aus, daß das Vorkommen eines Körpers in festem, flüssigem oder luftförmigem Zustand von der größeren oder geringeren Wärmemenge abhänge, welche derselbe enthalte. Einer jeden Untersuchung der Wärmeerscheinungen stand damals ein bis dahin noch nicht überwundenes, bedeutendes Hinderniß entgegen. Man besaß nämlich kein Instrument, mit dem man genaue und unter sich vergleichbare Messungen der Wärmeintensität, der Temperatur, hätte machen können. Das Thermometer war noch nicht erfunden. Das Instrument, dessen Erfindung gewöhnlich dem Holländer Drebbel zugeschrieben wird, kann gar nicht als Wärmemesser angesehen werden, dasselbe konnte nur dazu dienen, verschiedene Temperaturen zu unterscheiden; vergleichbare Angaben waren aber mit demselben nicht zu erhalten.

Da die Wärme alle Körper ausdehnt, und diese Ausdehnung in ziemlich weiten Grenzen der Intensität der Wärme proportional ist, so muß man auch von der Größe der Ausdehnung, die ein Körper durch Wärme erfährt, auf die Intensität der letzteren oder auf die Temperatur des Körpers schließen können. Von den verschiedenen Körpern sind die flüssigen von Anfang an als diejenigen erkannt worden, deren Ausdehnung sich am besten zur Temperaturbestimmung benutzen läßt. Füllt man eine sehr enge, sich in eine Kugel endigende Glasröhre mit einer Flüssigkeit, so kann der Stand derselben in der Röhre sehr leicht beobachtet werden. Wird die Temperatur der Flüssigkeit erhöht, so wird dieselbe in der Röhre steigen, dagegen sinken im entgegengesetzten Falle. Ein Thermometer ist dieser Apparat aber noch nicht. Hierzu wird er erst dann, wenn es gelingt ihm eine solche Einrichtung zu geben, daß alle einzelnen nach derselben Regel construirten Instrumente eine und dieselbe Temperatur auch genau übereinstimmend angeben. Diese Aufgabe hat man nun aber dadurch vollkommen gelöst, daß man den Stand der Flüssigkeit in der Röhre für zwei genau bekannte, unveränderliche Temperaturen bestimmt, und diesen Abstand in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile theilt. Für die Construktion eines Thermometers war es daher sehr wesentlich, zwei Temperaturen aufzusuchen, die in genau derselben Größe leicht zu erzeugen sind. Als eine solche hatte, wie schon gesagt, Amontons die Temperatur des siedenden Wassers erkannt. Ihrer bediente sich (1714) ein deutscher Mechaniker, Gabriel Fahrenheit in Danzig, dem man die ersten brauchbaren Thermometer verdankt, zur Bestimmung des oberen festen Punktes seiner Instrumente. Den untern festen Punkt bestimmte er bei seinen Thermometern durch Eintauchen derselben in eine constante Mischung von Salmiak und Schnee. Er wandte auch zuerst als thermometrische Flüssigkeit das Quecksilber an. Der Physiker Réaumur fand (1730), daß ein Gemisch von Wasser und Eis stets dieselbe Temperatur habe, und benutzte dieselbe zur Bestimmung des untern festen Punktes bei seinem Thermometer; der obere entsprach auch bei diesem der Siedhitze des Wassers. Den Abstand dieser beiden festen Punkte hatte Réaumur in 80 gleiche Theile, Grade, getheilt, wofür (1741) der schwedische Physiker Celsius eine Eintheilung desselben Abstandes in 100 Grade vorschlug. Für wissenschaftliche Angaben fand sein Vorschlag allgemein Anklang, während im gewöhnlichen Leben in Deutschland und Frankreich die Temperaturen noch meist nach Réaumur'schen Graden angegeben werden. (Die in diesem Aufsatz angegebenen Temperaturen sind in Celsius'schen Graden ausgedrückt.) So war denn endlich nach zahlreichen Versuchen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein Instrument erfunden, mit welchem die Wärme genauen Messungen unterworfen werden konnte. Die neuen und unerwarteten Aufschlüsse, zu welchen dasselbe der Wissenschaft verhalf, sollten nicht lange auf sich warten lassen. *Thermometer.*

Eine der wichtigsten und zugleich interessantesten Wirkungen der Wärme ist offenbar die, daß sie es vermag, feste Körper in flüssige, und diese in luftförmige zu verwandeln. Ueber die Vorgänge aber, welche diese Erscheinungen begleiten, hatte man ganz irrige Ansichten. Man glaubte, daß ein fester Körper, wenn er einmal bis zu seinem Schmelzpunkte erhitzt sei, nur noch der Hinzufügung einer ganz geringen Wärmemenge bedürfe, um flüssig zu werden. Durch sehr sinnreiche Versuche zeigte aber (1762) Joseph Black, welcher seit dem Jahre 1754 Professor der Physik in Glasgow war, die Unrichtigkeit jener Ansicht. Sein Hauptbeweis dafür war folgendes Experi- *Latente Wärme.*

ment. Schüttet man 1 Pfund Wasser von 79^0 und 1 Pfund Wasser von 0^0 zusammen, so erhält man 2 Pfund Wasser von $39^0 1/_2$. Mischt man dagegen 1 Pfund Wasser von 79^0 mit 1 Pfund feingestoßenem Eis, also fest gewordenem Wasser, von 0^0 zusammen, so schmilzt das Eis und man erhält wiederum 2 Pfund Wasser, aber nicht von $39^0 1/_2$, sondern nur von 0^0. Dies zeigt, daß die ganze Wärmemenge, welche 2 Pfund Wasser von $39^0 1/_2$ enthalten, erforderlich ist, um 1 Pfund Eis von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln. Für das Gefühl und das Thermometer ist jene Wärmemenge nicht mehr vorhanden; sie ist von dem Wasser, in welches sich das Eis verwandelt hat, unfühlbar gemacht, gleichsam gebunden worden. Man nennt diese Wärme daher auch gebundene oder latente Wärme. Wasser von 0^0 unterscheidet sich also von Eis von 0^0 durch eine gewisse Menge latenter Wärme, die diesem fehlt. Ein solches Binden von Wärme findet jedesmal statt, wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht. Und umgekehrt wird immer latente Wärme frei, wenn ein flüssiger Körper fest wird.

Der Uebergang eines Körpers aus dem flüssigen Zustand in den dampfförmigen, und umgekehrt, ist von einer ähnlichen Erscheinung begleitet. Um Wasser von 100^0, also siedendes Wasser, in Dampf von 100^0 zu verwandeln, muß demselben noch fast $5^1/_2$mal so viel Wärme zugeführt werden, als erforderlich war, um das Wasser von 0^0 auf 100^0 zu erwärmen. Die latente Wärme des Wasserdampfes ist also sehr bedeutend. Hierin liegt auch die Ursache, weßhalb man einer so auffallend großen Wassermenge bedarf, um Dampf abzukühlen und wieder tropfbar flüssig zu machen. Das Wasser muß nämlich die ganze Wärmemenge aufnehmen, welche bei der Verdichtung des Dampfes frei wird.

Durch die Entdeckung der latenten Wärme hat Black die ganze Wärmelehre auf das Wesentlichste gefördert, und sich einen Ehrenplatz unter den Physikern aller Zeiten gesichert. Die Wissenschaft war jetzt auf einem Standpunkte angelangt, wo sie mit Aussicht auf Erfolg an eine nähere Untersuchung der Eigenschaften des Dampfes gehen konnte. Die Hauptergebnisse derselben sollen hier, um bei Besprechung der weiteren Ausbildung der Dampfmaschine Unterbrechungen zu vermeiden, im Zusammenhange mitgetheilt werden, obgleich sie nicht auf einmal, sondern während eines längeren Zeitraumes nach und nach gefunden wurden.

Eigenschaften des Wasserdampfes.

Befindet sich in einem offenen Gefäße Wasser, so entwickeln sich an dessen Oberfläche unausgesetzt Dämpfe. Diese Dampfbildung wird durch Erwärmen des Wassers befördert, und es tritt, wenn die Temperatur des letzteren eine gewisse Höhe erreicht, ein Augenblick ein, von welchem an sich nicht nur an der Oberfläche des Wassers, sondern auch in dessen Inneren Dämpfe bilden. Sobald dieser Zustand begonnen hat, erhält sich die Temperatur des Wassers unverändert auf 100^0, und die Spannkraft der sich bildenden Dämpfe ist genau gleich derjenigen, welche die auf dem Wasser ruhende Luft besitzt. Wird nun aber das Gefäß fest verschlossen und die Erhitzung fortgesetzt, so nimmt die Temperatur des Wassers mehr und mehr zu, und mit ihr steigt zugleich die Spannkraft des eingeschlossenen Dampfes. Bei Dampf, welcher sich noch in Berührung mit der Flüssigkeit befindet, aus welcher er sich entwickelt hat, hängt die Spannung bloß von der Temperatur ab; man nennt denselben gesättigten Dampf. Bei diesem entspricht also immer einer bestimmten Temperatur eine ganz bestimmte Spannkraft; das Gesetz jedoch, welches das eine dieser Elemente an das andere bindet, ist bis jetzt noch nicht aufgefunden worden. Die Wissenschaft darf

freilich ihrer selbst wegen nicht aufhören, nach jenem Gesetze zu forschen, indem nur dieses ihr Genüge leisten kann. Die Bedürfnisse der Praxis sind dagegen schon vollständig befriedigt, wenn die den einzelnen Temperaturen entsprechenden Dampfspannungen bekannt sind. Versuche, dieselben zu ermitteln, sind von vielen Physikern angestellt worden, doch verdienen besonders diejenigen, welche Arago und Dulong (1830), und in neuester Zeit Magnus und Regnault unternommen haben, wegen ihrer bedeutenden Ausdehnung und der auf sie verwendeten Sorgfalt erwähnt zu werden. Um die Größe der Spannkraft des Dampfes zu bezeichnen, bedient man sich meist einer der beiden folgenden Ausdrucksweisen. Entweder giebt man den Druck in Gewichteinheiten an, welchen der Dampf auf eine bestimmte Flächeneinheit ausübt, und sagt also z. B., ein gewisser Dampfdruck betrage auf den Quadratzoll 40 Pfund. Oder man stellt fest, wie viel mal der Dampfdruck für einen bestimmten Fall größer ist, als der mittlere Luftdruck. Die Größe des letzteren, welche pro Quadratzoll preuß. 14,13 neue Pfund beträgt, wird kurz eine Atmosphäre genannt. (Ein neues oder Zollpfund ist gleich einem halben Kilogramm.) Heißt es daher von einer Dampfspannung, sie betrage z. B. 6 Atmosphären, so besagt dies, daß dieselbe 6 mal so groß ist als die Spannung der Luft an der Erdoberfläche; dieser Dampf wird auf den Quadratzoll mit 6 . 14,13 = 84,78 Pfund drücken.

Ein ferneres Element, welches ebenso wie die Spannung bloß von der Temperatur des Dampfes abhängt, ist das sogenannte *specifische Volumen* desselben. Man versteht darunter die Zahl, welche angiebt, einen wie viel mal größeren Raum gesättigter Dampf von bestimmter Temperatur einnimmt als das Wasser, aus welchem er entstanden ist. So ist z. B. das specifische Volumen des Dampfes von 2 Atmosphären Spannung gleich 897, d. h. aus 1 Maß Wasser entstehen 897 Maß gesättigter Dampf von der angegebenen Spannkraft. Die Kenntniß des specifischen Volumens des Dampfes ist für die Berechnung der Dampfmaschine besonders wichtig. Denn mit Hülfe derselben kann man die Menge des zu verdampfenden Wassers bestimmen, wenn man bei einer Maschine die Dampfspannung im Cylinder, den Rauminhalt desselben und die Anzahl der Füllungen für eine gewisse Zeit kennt. In der folgenden kleinen Tabelle sind für eine Anzahl von Temperaturen die Spannung des Dampfes in Atmosphären, der Druck desselben auf den preuß. Quadratzoll in neuen Pfunden, und das spezifische Volumen angegeben.

Temperatur in Celsiusschen Graden.	Spannkraft in Atmosphären.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.	Specifisches Volumen.	Temperatur in Celsiusschen Graden.	Spannkraft in Atmosphären.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.	Specifisches Volumen.
20	0,024	0,322	58224	145,4	4,0	56,504	476,3
40	0,074	0,985	20343	149,1	4,5	63,569	427,2
60	0,198	2,689	7937	153,1	5	70,634	388,2
80	0,467	6,544	3462	160,2	6	84,764	329,0
100	1,0	14,126	1696	166,5	7	98,882	286,1
112,2	1,5	21,191	1167,8	172,1	8	113,008	253,6
121,4	2,0	28,252	897,1	177,1	9	127,146	228,0
128,8	2,5	35,317	731,4	181,6	10	141,126	207,4
135,1	3,0	42,382	619,2	186,0	11	155,398	190,3
140,6	3,5	49,443	538,0	190,0	12	169,528	176,0

Wenn man atmosphärische Luft zusammendrückt, indem man z. B. in einen mit Luft gefüllten Cylinder einen dicht schließenden Kolben hineinpreßt, so wächst die Spannkraft der eingeschlossenen Luft und zwar um so mehr, je kleiner der Raum ist, auf welchen sie beschränkt wird. Drückt man Luft auf die Hälfte, den dritten, vierten oder allgemein auf den nten Theil ihres anfänglichen Volumens zusammen, so wird ihre Spannung dadurch verdoppelt, verdrei-, vervier-, ver n-facht. Dieses Gesetz, nach welchem die Spannung der Luft im umgekehrten Verhältniß zu ihrem Volumen steht, wurde im Jahre 1660 von Boyle zuerst aufgefunden. Sechszehn Jahre später bestätigte Mariotte die Richtigkeit desselben, und veranlaßte hierdurch, daß dasselbe nach ihm gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz genannt wird. Die eben besprochene Eigenschaft der Luft besitzt der gesättigte Dampf nicht; bei diesem läßt sich die Spannkraft nicht vergrößern, indem man sein Volumen verkleinert. Die Zusammendrückung von gesättigtem Dampf hat vielmehr den Erfolg, daß ein Theil des Dampfes wieder tropfbar flüssig wird, während der übrigbleibende seine anfängliche Spannung unverändert beibehält. Man sagt aus diesem Grunde auch, gesättigter Dampf befinde sich im Maximum seiner Spannkraft.

Ist dagegen Dampf getrennt von der Flüssigkeit, aus welcher er sich gebildet hat, so kann seine Spannung zwar auch niemals das seiner Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft übersteigen, dieselbe kann aber in jedem beliebigen Verhältniß kleiner sein, als jenes Maximum. Für Dampf, welcher mit seiner Erzeugungsflüssigkeit nicht mehr in Berührung steht, und dessen Spannung eine kleinere ist, als bei gesättigtem Dampfe von gleicher Temperatur, gilt gerade so wie für Luft, das Mariotte'sche Gesetz. Bei nicht gesättigtem Dampf nimmt die Spannung in demselben Verhältniß ab, in welchem das Volumen zunimmt, und umgekehrt. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, daß die Temperatur des Dampfes während seiner Ausdehnung keine Aenderung erleidet.

Da Dampf außer der am Thermometer leicht abzulesenden fühlbaren, auch noch eine gewisse Menge gebundener oder latenter Wärme enthält, so waren besondere Versuche nöthig, um die Gesammtwärme zu bestimmen, welche in Dampf von verschiedener Temperatur enthalten ist. Solche Versuche sind in neuester Zeit namentlich von Regnault mit großer Genauigkeit angestellt worden. Um Wärmemengen zu messen, ist es ebenso wie bei der Messung jeder anderen Art von Größen zunächst erforderlich, sich über die anzuwendende Einheit zu verständigen. Man ist nun übereingekommen, diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur einer Gewichteinheit, also bei uns eines Pfundes, Wasser um 1^0 Celsius zu erhöhen, als Wärmeeinheit anzusehen. Die Erwärmung von 1 Pfund Wasser von 0^0 bis zu 100^0 erfordert hiernach 100 Wärmeeinheiten; die gleiche Erwärmung von 20 Pfund Wasser 20 mal so viel. In solchen Einheiten drücken nun die Zahlen der folgenden Tabelle die Mengen der latenten und der Gesammtwärme aus, welche 1 Pfund gesättigter Wasserdampf von den in der ersten Spalte angegebenen Temperaturen enthält. Die Gesammtwärme ist natürlich gleich der Summe der fühlbaren und der latenten Wärme. Um also 5 Pfund Dampf von 120^0 zu erzeugen, sind nach der Tabelle $5 . 643,1 = 3215,5$ Wärmeeinheiten erforderlich. Die Kenntniß der in einer bestimmten Quantität Dampf enthaltenen Wärmemenge ist besonders deßhalb von Interesse, weil sich aus ihr die zur Erzeugung jenes Dampfes erforderliche Brennstoffmenge berechnen läßt.

Temperatur des Dampfes.	Latente Wärme.	Gesammtwärme.	Temperatur des Dampfes.	Latente Wärme.	Gesammtwärme.
20	592,6	612,6	120	522,3	643,1
40	578,7	618,7	140	508,0	649,2
60	564,7	624,8	160	493,6	655,3
80	550,6	630,9	180	479,0	661,4
100	536,5	637,0	200	464,3	667,5

Kehren wir nun wieder zu der weiteren Entwicklung der Dampfmaschine zurück. Die Newcomen'sche Maschine wurde, wie schon gesagt, bald von vielen Grubenbesitzern benutzt. Nachdem aber die erste Freude über ihre Erfindung und ihren Besitz vorüber war, wurde ihr der immer lauter werdende und begründete Vorwurf gemacht, sie verbrauche zu viel Brennstoff und ihre Leistungen würden daher zu theuer erkauft. Dieser Uebelstand wuchs natürlich in demselben Maße, wie sich der Preis des Brennstoffes steigerte, und mußte endlich den Tag herbeiführen, wo die Industrie die Newcomen'sche Maschine nicht ferner gebrauchen konnte. Es galt daher, diesem das ganze Land bedrohenden Uebel zuvorzukommen, und eine Maschine zu ersinnen, welche die Dampfkraft besser, als es die atmosphärische Maschine vermochte, nutzbar macht. Mit Eifer wandten sich die bedeutendsten Ingenieure der gestellten Aufgabe zu. Und wirklich war auch das Genie bereits geboren, welches sich in diesem Wettstreite die Krone erringen sollte. Dem schöpferischen Geiste eines James Watt war es vorbehalten, nicht nur die erste eigentliche Dampfmaschine herzustellen, sondern sie auch gleich durch eine Reihe glänzender Erfindungen bis fast zu der Höhe der Vollendung zu führen, auf welcher wir sie heute kennen und bewundern.

James Watt wurde den 19. Januar 1736 in der schottischen Stadt Greenock geboren. Den ersten Unterricht im Lesen erhielt er von seiner Mutter, während sein Vater ihn Schreiben und Rechnen lehrte. Eine öffentliche Schule konnte der junge Watt seiner schwachen Gesundheit wegen nur selten besuchen; für seine geistige Entwicklung war dies jedoch eher vortheilhaft als nachtheilig. Der Schöpfer hatte ihm eine außerordentliche, sich auf Alles erstreckende Beobachtungsgabe verliehen, und dieser noch das kostbare Geschenk einer lebhaften, leicht gestaltenden Phantasie hinzugefügt. Diese beiden Gaben, zu denen sich noch ein wunderbar starkes Gedächtniß gesellte, haben es Watt möglich gemacht, die große Aufgabe seines Lebens vollständig zu lösen. Die Umgebungen seiner Vaterstadt, die Nähe von Meer und Gebirgen, und besonders die romantischen Ufer des nahen Loch Lomond boten der Beobachtungsgabe des Jünglings die reichste Nahrung. Sie waren für ihn eine lockende Einladung, sich ernstlich mit den Naturwissenschaften zu beschäftigen, von welchen ihn besonders Botanik und Mineralogie anzogen. Wenn der Winter oder Rücksicht auf seine Gesundheit ihn in die Stube bannte, war es vorzugsweise die Lectüre medicinischer Schriften und das Studium der Chemie, welche Watt auch diese stillen Tage werth machten. Die Chemie machte zu jener Zeit große Anstrengungen, sich zu einer Wissenschaft zu gestalten, und mußte gerade in ihrem damaligen Zustande, wo so viele Räthsel noch des lösenden Wortes harrten, eine besondere Anziehungskraft für denkende Köpfe haben. Daß Watt's chemische

James Watt.

Untersuchungen mit dem Ernst eines echten Forschers angestellt wurden, und nicht als bloßer Zeitvertreib dienten, sollte glänzend ans Licht treten, als Watt später (1783) gleichzeitig mit Andern, eine der tiefgreifendsten Entdeckungen der neueren Chemie machte: die Zusammensetzung des Wassers aus den beiden Gasen Sauerstoff und Wasserstoff.

Unter so mannichfachen, aber stets lehrreichen Beschäftigungen war die Zeit herangekommen, wo Watt sich über seinen späteren Beruf entscheiden mußte. Ob ihm diese Wahl schwer wurde, wissen wir nicht, doch sollte man es fast vermuthen, da seine reichen Anlagen ihn zu Vielem gleich sehr befähigten. Vielleicht trieb ihn jedoch eine dunkle Ahnung in die Laufbahn, in welcher er seinem Namen Unsterblichkeit erringen sollte. Er entschloß sich Mechaniker zu werden und ging im Jahre 1755 nach London, um hier bei John Morgan seinen künftigen Beruf zu erlernen. Watt besaß eine äußerst geschickte Hand, was ihm bei seiner neuen Beschäftigung sehr zu statten kam. Diese bestand in der Anfertigung von nautischen Instrumenten, von Sextanten, Compassen u. dergl. Schon nach einem Jahre sah sich Watt indeß genöthigt, seine Stelle in London aufzugeben. Er hatte während eines kalten Wintertages in der Nähe der Werkstattthüre gearbeitet, und sich hierdurch eine heftige Erkältung zugezogen. Da dieses Uebel gar nicht weichen wollte, so beschloß er, wieder nach seiner Heimath zurückzukehren, von deren Luft er Besserung hoffte. Auf diese Weise kam er (1756) nach Glasgow, mit der Absicht, hier als Mechaniker ein eigenes Geschäft zu gründen. Die dortige Zunft seines Handwerks widersetzte sich aber, gestützt auf alte Privilegien, hartnäckig der Ansiedelung eines Fremden. In dieser für Watt sehr unangenehmen Lage nahm die Glasgower Universität sich seiner an, ernannte ihn zu ihrem Mechaniker und räumte ihm in ihren Gebäulichkeiten eine Werkstätte ein. Zugleich wurde ihm erlaubt, in seinen freien Stunden für eigene Rechnung zu arbeiten. So bescheiden diese Stellung auch war, so konnte sie doch die großen Eigenschaften Watt's nicht verbergen. In kurzer Zeit hatte er sich die Achtung und Liebe sowohl der Studirenden, als der Professoren erworben. Um sein Verhältniß zu seinen Umgebungen recht deutlich und unmittelbar erkennen zu lassen, sei es mir erlaubt, hier die Aeußerungen eines Zeitgenossen, des Doktor Robison, mitzutheilen.

„Obgleich noch Student," sagt der Verfasser des Philosophical magazine, „besaß ich doch schon die Eitelkeit, mich in meinen Lieblingswissenschaften, Mechanik und Physik, für weit fortgeschritten zu halten. Da wurde ich eines Tages Watt vorgestellt, und ich gestehe, ich war nicht wenig betroffen, als ich sah, wie sehr mir der junge Arbeiter überlegen war. . . . Wenn wir seitdem bei unseren Studien auf irgend eine Schwierigkeit stießen, welcher Art dieselbe auch sein mochte, so suchten wir Hülfe bei unserem Künstler. Jeder einmal angeregte Gegenstand wurde für ihn die Veranlassung zu ernsten Studien und Entdeckungen. Niemals ließ er mit seinen Anstrengungen nach, bis die gestellte Frage gänzlich aufgeklärt war, sei es nun, daß er ihre Richtigkeit nachwies, oder aus ihr ein bestimmtes und faßbares Resultat gewann . . . Eines Tages schien die gewünschte Aufklärung das Studium des Leupold'schen Werkes über Maschinen zu verlangen: Watt lernte gleich das Deutsche. Bei einer anderen Gelegenheit machte er sich aus einer ähnlichen Ursache mit der italienischen Sprache bekannt. . . . Die natürliche Einfachheit des jungen Ingenieurs erwarb ihm augenblicklich das Wohlwollen Aller, welche mit ihm in Berührung kamen. Obgleich ich mich

viel in der Welt bewegt habe, so muß ich doch bekennen, daß es mir nicht möglich ist, ein zweites Beispiel einer so tiefen und allgemeinen Zuneigung anzuführen, welche irgend Jemandem von unbezweifelter Ueberlegenheit wäre zu Theil geworden. Diese Ueberlegenheit wurde freilich gemildert durch die liebenswürdigste Offenheit, und war mit dem festen Willen gepaart, daß Verdienst eines Jeden freiwillig anzuerkennen. Ja Watt gefiel sich sogar darin, dem erfinderischen Geiste seiner Freunde Dinge zuzuschreiben, welche oft nur seine eigenen, unter einer anderen Form dargestellten Ideen waren."

In dem Cabinet der Universität befand sich ein Modell der Newcomen'schen Maschine, welches aber bisher nie hatte in Gang gebracht werden können. Anderson, der Professor der Physik, beauftragte Watt (im Winter 1763), jenes Modell in brauchbaren Stand zu setzen. Diesem gelang die gestellte Aufgabe sehr leicht, indem er bloß den Cylinder, welcher im Verhältniß zum Kessel zu groß war, um ein Stück verkürzte. Von nun an wurde das in Thätigkeit befindliche Modell in den Vorlesungen stets mit großem Interesse betrachtet. Das größte Interesse aber hatte dasselbe bei Watt selbst erregt. Er hatte keine Ruh und Rast, bis ihm die ganze Thätigkeit der Maschine und alle Erscheinungen, welche sie darbot, vollständig klar waren. Bei den mannichfachen Versuchen, welche er mit dem Modelle anstellte, konnten seinem hellen Geiste die Fehler, welche jenes besaß, und deren Ursachen nicht verborgen bleiben. Was Watt zuerst auffiel, war der verhältnißmäßig große Dampfverbrauch; derselbe betrug für jeden Kolbenaufgang das Mehrfache des Cylinderinhaltes. Ein großer Brennstoff-Aufwand war die unmittelbare Folge davon. Die Ursache jener Erscheinung lag in der Einrichtung der Maschine, und ließ sich ohne eine durchgreifende Aenderung derselben nicht beseitigen. Der doppelte Zweck des Cylinders, abwechselnd mit heißem Dampf gefüllt und mit kaltem Wasser in Berührung gebracht zu werden, veranlaßte nothwendig einen großen Dampfverlust. Denn bei der Verdichtung des Dampfes im Cylinder wurde auch die Wand desselben erkaltet; strömte nun wieder neuer Dampf ein, so wurde erst eine solche Menge desselben durch Berührung mit dem kalten Cylinder verdichtet, bis die aus ihr freigewordene latente Wärme die Temperatur der Cylinderwand wieder auf die des Dampfes erhöht hatte. Der hierzu benutzte Dampf war natürlich für die eigentliche Thätigkeit der Maschine verloren.

Die Auffindung eines Mittels, wodurch dem besprochenen Uebelstande hätte abgeholfen werden können, war jedoch nicht das, womit Watt sich nun zunächst beschäftigte. Er that Nichts halb und baute nicht auf unsicherem Fundamente. Ehe er auf Mittel für eine vortheilhaftere Benutzung des Dampfes sann, wollte er erst die Eigenschaften desselben näher kennen. Mit geringen Hülfsmitteln unternahm nun Watt eine Reihe sehr schwieriger Untersuchungen. Zuerst ermittelte er, daß gesättigter Dampf von 100^0 nahe 1700 mal soviel Raum einnimmt, als das Wasser, aus dem er entstanden ist; er bestimmte also das specifische Volumen dieses Dampfes. Dann ging er weiter zur Bestimmung der Wassermenge, welche durch Verbrennen einer bestimmten Quantität Kohlen verdampft werden kann. Vom Beginn seiner Versuche an hatte Watt mit Erstaunen bemerkt, welche bedeutende Wassermenge erforderlich war, um den im Cylinder enthaltenen Dampf zu verdichten, und wie beträchtlich sich hierbei das eingespritzte Wasser erwärmte. Trotz alles Nachdenkens wollte es ihm nicht gelingen, den Grund jener Erscheinung aufzufinden. Wie ihm endlich Aufklärung darüber wurde, erzählt Watt selbst

mit folgenden Worten: „Ich sprach mit meinem Freunde, dem Doktor Black, darüber, welcher mir bei dieser Gelegenheit die Lehre von der latenten Wärme entwickelte, die er einige Jahre vorher aufgestellt hatte. Ganz und gar von meinen eigenen Untersuchungen in Anspruch genommen, hatte ich von dieser neuen Lehre können sprechen hören, ohne ihr die verdiente Aufmerksamkeit zu schenken, bis ich plötzlich vor einer der Hauptthatsachen stand und von ihr gehemmt wurde, auf welcher jene bewundernswerthe Theorie beruht." Man erkennt aus dieser Aeußerung so recht unmittelbar, welch bedeutenden Einfluß die Fortschritte der Wissenschaft auf die Ausbildung der Dampfmaschine geübt haben. Nachdem Watt einmal mit den Erscheinungen der latenten Wärme bekannt geworden, war es ihm nicht schwer, die Wassermenge zu bestimmen, welche erforderlich ist, eine gegebene Quantität Dampf abzukühlen und zu verdichten. Endlich machte Watt auch einige Versuche über die Spannkraft, welche gesättigter Dampf bei verschiedenen Temperaturen besitzt.

Ueber diesen Arbeiten hatte sich bei Watt immer mehr die Ueberzeugung von der großen Wichtigkeit einer Verbesserung der Newcomen'schen Maschine festgesetzt. Um dieser Aufgabe seine ganze Zeit und Kraft widmen zu können, beschloß er seine bisherige Stellung aufzugeben. Hierbei wirkte indeß auch noch ein anderer Beweggrund mit. In der Nähe von Glasgow bewohnte einer seiner Oheime, Herr Miller, während der Sommermonate ein Landhaus, wo Watt sich Sonntags häufig zum Besuche einfand. Er lernte hier eine junge, liebreizende Cousine kennen, und hatte bald sein Herz an sie verloren. Doch wurde ihm für diesen Verlust reicher Ersatz: Fräulein Miller schenkte ihm Herz und Hand, und wurde (1764) seine Gattin. Watt schloß nun seine kleine Werkstatt und ließ sich als Civil-Ingenieur in Glasgow nieder Er besaß in seinem Charakter einen gewissen Zug von Unentschlossenheit, eine Neigung zum dolce far niente, welche ihn am Ende seines thätigen Lebens den sonderbaren Ausspruch thun ließ, er habe nur zwei Arten des Vergnügens gekannt, die Unthätigkeit und den Schlaf. Damit die kostbaren Früchte, deren unerschöpflicher Quell sein Genie war, auch wirklich zur Reife gelangten, bedurfte Watt eines äußeren Antriebes. Daher wirkte das Glück, welches er in der Ehe fand, und der anregende Einfluß, welchen seine sanfte, innig geliebte Gattin auf ihn ausübte, so günstig auf den Erfolg seiner Bestrebungen.

Condensator. Die mannichfachen Ideen zu einer Verbesserung der atmosphärischen Maschine, welche Watt schon seit längerer Zeit mit sich herumtrug, begannen endlich eine feste Gestalt anzunehmen. Der Hauptübelstand jener Maschine erforderte zunächst Abhülfe: Watt schaffte dieselbe durch die Erfindung des Condensators, welche er im Jahre 1765 machte. Wir haben oben gesehen, daß die Abkühlung des Dampfes im Innern des Cylinders eine im Prinzip fehlerhafte Anordnung ist, indem dabei an ein und dasselbe Maschinenorgan zwei einander widersprechende Anforderungen gestellt werden. Das Mittel, wodurch Watt diesen Widerstreit beseitigte, war so einfach und scheinbar so naheliegend, daß Mancher vielleicht verwundert fragt, warum man nicht schon früher darauf verfallen sei. Die Antwort hierauf ist nicht schwierig. Jeder, der mit der Thätigkeit des menschlichen Geistes und mit der Geschichte der Erfindungen näher bekannt ist, weiß auch, daß es nur dem echten Genie, dem überlegenen Geiste gelingt, zur Erreichung eines Zweckes gleich die einfachsten Mittel ausfindig zu machen. Watt läßt die Verdichtung des

Dampfes in einem besonderen geschlossenen Gefäße geschehen, welches mittelst eines, mit einem Hahn versehenen Rohres mit dem Dampfcylinder beliebig in und außer Verbindung gesetzt werden kann. Diesem Gefäße gab er den Namen Condensator. Wenn nun, während die Verbindung zwischen diesem und dem Cylinder abgesperrt, dagegen ein am Condensator angebrachtes Ventil geöffnet ist, in diesen Dampf aus dem Kessel hinein geleitet wird, so drängt derselbe die Luft durch jenes Ventil hinaus und füllt den Condensator ganz an. Wird jetzt das erwähnte Ventil geschlossen und kaltes Wasser in den Condensator eingespritzt, so bildet sich in demselben ein nur von sehr gering gespannten Dämpfen erfüllter Raum, gerade so wie es früher im Cylinder geschah. Läßt man nun fortwährend kaltes Wasser in den Condensator dringen, und stellt, wenn der Kolben oben im Cylinder angekommen ist, die Verbindung zwischen diesem und dem Condensator her, so werden alle Dämpfe aus dem Cylinder in den Condensator strömen, wo sie gleich verdichtet werden. Denn da in diesem eine viel geringere Spannung herrscht als in jenem, so werden die Dämpfe durch ihre eigene Spannkraft in den Condensatorraum hineingetrieben. Hat der Kolben seinen Niedergang beendet, so hebt man die Verbindung zwischen den beiden Räumen auf, und stellt sie erst wieder her, wenn der Cylinder von neuem mit Dampf gefüllt ist. Auf diese einfache Weise erhält man eine ebenso vollständige Verdichtung des Dampfes, als wenn sie im Cylinder selbst geschieht, ohne diesen doch irgend wie mit kaltem Wasser in Berührung zu bringen und hierdurch abzukühlen.

Die Thätigkeit des Condensators wird so lange ungestört fortdauern können, als die in ihn einströmenden Dämpfe genügend verdichtet werden. Dies würde aber schon nach einigen Kolbenspielen nicht mehr der Fall sein, wenn der Condensator nicht noch mit einer besonderen Einrichtung versehen würde. Wäre diese nicht vorhanden, so würde das fortwährend in den Condensator strömende Wasser denselben nach und nach anfüllen; ferner würde sich in demselben eine immer größer werdende Luftmenge ansammeln. Denn alles gewöhnliche Wasser enthält eine gewisse Menge Luft, welche aus demselben frei wird, wenn das Wasser verdampft oder in einen Raum gebracht wird, in welchem eine geringere Spannung herrscht, als in den Luftschichten an der Erdoberfläche. Daher muß mit den Dämpfen, welche aus dem Kessel in den Cylinder, und von hier in den Condensator gelangen, zugleich eine gewisse Menge Luft in diesen eindringen. Vermehrt wird dieselbe durch diejenige Luft, welche aus dem in den Condensator eingespritzten Wasser frei wird. Soll nun trotz dieses fortwährenden Zuströmens von Wasser und Luft die Thätigkeit des Condensators ungestört bleiben, so muß dafür gesorgt werden, daß aus demselben fortwährend eben soviel Wasser und Luft fortgeschafft wird, als gleichzeitig hinein gelangt. Dies bewirkte Watt durch Anbringung einer einfachen Saugpumpe, welche beide Stoffe entfernt; er nannte dieselbe zur Unterscheidung von anderen bei der Dampfmaschine vorkommenden Pumpen Luftpumpe. Die Kolbenstange derselben verband er mit dem Balancier, so daß die Maschine selbst die Pumpe in Bewegung setzt. Der hierzu in Anspruch genommene Theil der Gesammtwirkung des Dampfes geht freilich für die nützliche Arbeit der Maschine verloren; aber diese Einbuße wird durch den Gewinn, den die Anbringung von Condensator und Luftpumpe gewährt, um das Mehrfache aufgewogen.

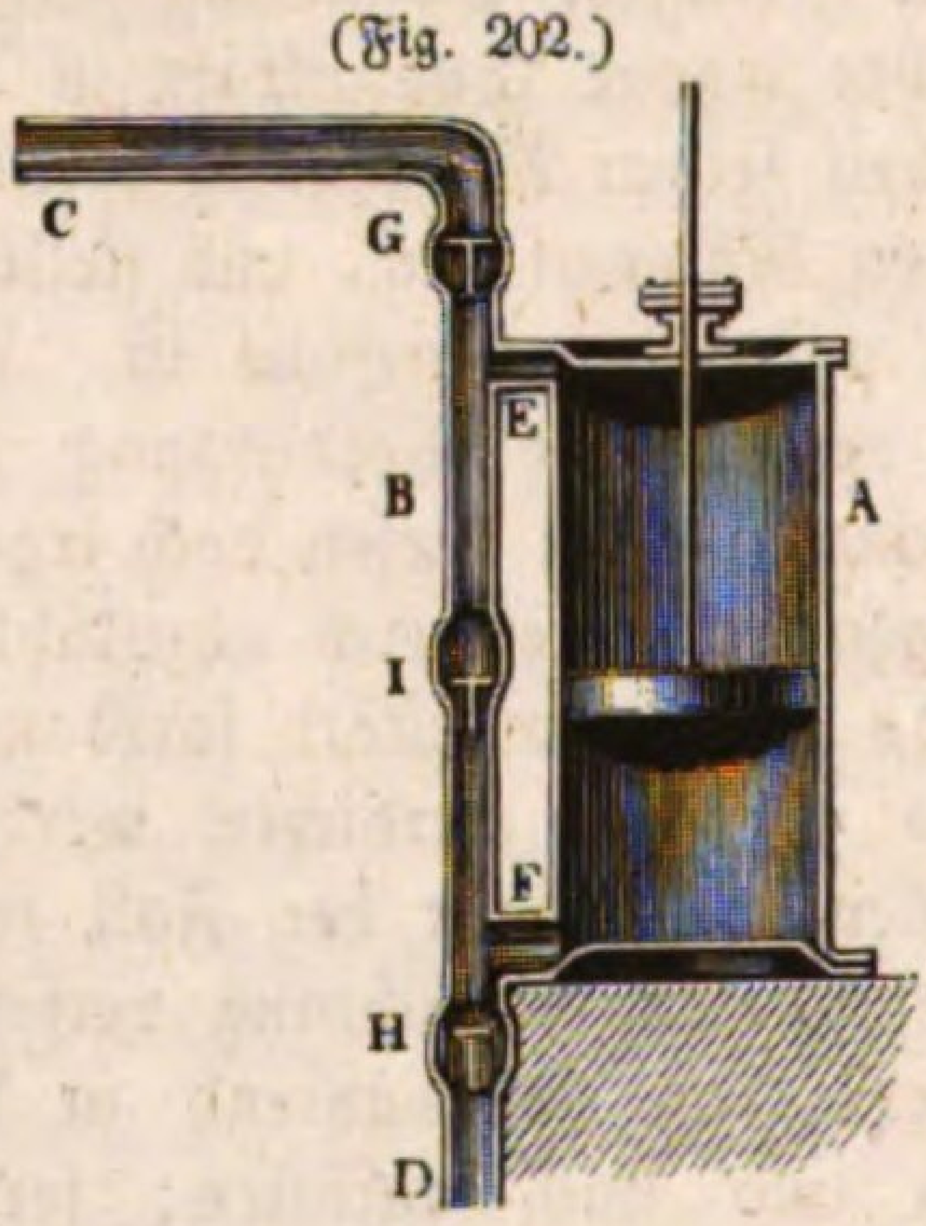
Luftpumpe.

Durch die Hinzufügung der eben beschriebenen Theile zu einer Newcomen'schen Maschine wird der Werth derselben zwar bedeutend erhöht, allein

Einfach wirkende Watt'sche Maschine.

sie bleibt doch immer noch eine atmosphärische Maschine: der auf dem Kolben lastende Luftdruck bewirkt den Niedergang desselben. Hiermit sind aber zweierlei Nachtheile verbunden. Einmal veranlaßt das Eindringen der äußeren Luft in den Cylinder eine schädliche Abkühlung desselben, und dann ist die Intensität des Luftdruckes eine ganz nahe unveränderliche Größe, was die Abmessungen der Maschine in manchen Fällen nachtheilig beeinflußt. Watt stellte sich daher die weitere Aufgabe, die ganze Thätigkeit der Maschine ausschließlich durch die Spannkraft des Dampfes hervorzubringen, und die Mitwirkung des Luftdruckes vollständig zu beseitigen. Die höchst einfache und schöne Einrichtung, welche er zur Erreichung dieses Zweckes ersann, besteht der Hauptsache nach in Folgendem. Zunächst ist der Cylinder nicht, wie bei der atmosphärischen Maschine, oben offen, sondern durch einen Deckel dampfdicht verschlossen. Die Kolbenstange geht durch eine auf dem Deckel angebrachte sogenannte Stopfbüchse hindurch, welche verhindert, daß Dampf aus dem Cylinder hinaus, oder Luft in denselben hineindringen kann. Neben dem Cylinder, Fig. 202, befindet sich ein Rohr B, dessen oberes Ende C mit dem Dampfkessel, und das untere D mit dem Condensator in Verbindung steht. Der Cylinder hängt an seinem oberen und unteren Ende durch die kurzen Rohre E und F mit dem Rohre B zusammen. In diesem befinden sich drei, nach oben sich öffnende Ventile, von denen das eine G oberhalb der Mündung des Rohres E, das zweite H unterhalb der Mündung des Rohres F, und das dritte I an einer beliebigen Stelle zwischen diesen Mündungen angebracht ist. Denken wir uns nun, der Kolben befinde sich in seiner höchsten Stellung, und die Ventile G und H würden geöffnet, während man das Ventil I schlösse. Dann steht der Cylinderraum unter dem Kolben mit dem Condensator in Verbindung, und der in ihm enthaltene Dampf wird also verdichtet. Gleichzeitig strömt aber der Dampf aus dem Kessel in den Cylinderraum über dem Kolben, und übt auf diesen einen seiner Spannkraft entsprechenden Druck aus. Da auf die untere Fläche des Kolbens nur ein sehr geringer Gegendruck wirkt, so wird sich der Kolben niederbewegen und zwar mit einer Kraft, welche gleich ist dem Unterschied der auf seine beiden Flächen wirkenden Pressungen. Ist der Kolben unten angekommen, so werden die Ventile G und H geschlossen, dagegen I geöffnet. Hierdurch wird der Cylinder sowohl vom Kessel als vom Condensator abgesperrt, während die Cylinderräume ober- und unterhalb des Kolbens mit einander in Verbindung treten. In Folge dessen erfährt die untere Kolbenfläche einen ebenso großen Dampfdruck als die obere, und da diese Drucke einander entgegen wirken, so heben sie sich vollständig auf und können also gar keine Bewegung des Kolbens hervorbringen. Setzt man nun aber, gerade so wie bei der Newcomen'schen Maschine, die Kolbenstange mit dem einen Ende des Balanciers in Verbindung, und hängt an das andere Ende desselben ein genügendes Gegengewicht, so wird dieses den Aufgang des Kolbens bewirken. Hierbei treten die über demselben befindlichen Dämpfe in dem Maße, wie er sich nach

(Fig. 202.)



oben bewegt, unter denselben. Sobald der Kolben oben angelangt ist, wird das Ventil I geschlossen, die Ventile G und H werden wieder geöffnet, und es beginnt ein neues Kolbenspiel, welches mit dem eben beschriebenen vollständig übereinstimmt. Der Gang der Maschine kann so ununterbrochen fortdauern, so lange der Kessel die nöthige Dampfmenge liefert und der Condensator die aus dem Cylinder tretenden Dämpfe gehörig verdichtet Das rechtzeitige Oeffnen und Schließen der drei Ventile geschieht durch passend angebrachte Hebel und Stangen, welche vom Balancier der Maschine bewegt werden.

So war denn die einfach wirkende Watt'sche Maschine erfunden und in ihr die erste eigentliche Dampfmaschine. Einfach wirkend ist diese Maschine noch in demselben Sinne, wie die Newcomen'sche, indem auch bei ihr nur während des Kolbenniederganges eine Arbeit geleistet wird. Auch darin stimmen beide Maschinen überein, daß sie, wenn von den durch Abkühlung im Cylinder entstehenden Dampfverlusten abgesehen wird, für jedes Kolbenspiel eine Dampfmenge gebrauchen, welche einer einmaligen Füllung des Cylinders entspricht. In Betreff jener Dampfverluste aber ist die Watt'sche Maschine ihrer Vorgängerin bei weitem überlegen. Während es bei ihr fast gar keine Dampfverluste mehr giebt, wurde bei der älteren Maschine kaum von dem dritten Theile des verbrauchten Dampfes eine nützliche Wirkung erzielt.

Ueber die verhältnißmäßige Mühe, welche ihm die einzelnen der besprochenen Erfindungen gemacht haben, äußert Watt selbst sich mit folgenden Worten: „Nachdem ich einmal die Idee gefaßt hatte, die Condensation außerhalb des Cylinders vorzunehmen, folgten sich alle anderen Verbesserungen mit solcher unglaublichen Schnelligkeit, daß in der Zeit von einem oder zwei Tagen der ganze Plan in meinem Kopfe ausgearbeitet war, und daß ich, um ihn zu erproben, gleich an seine Ausführung ging." In dem Erdgeschosse seines Hauses hatte er eine kleine Werkstätte eingerichtet. Hier untersuchte er zunächst an einem Modelle die Ausführbarkeit seiner Ideen, und als er sich von dieser vollständig überzeugt hatte, erbaute er mit Hülfe einiger Arbeiter die erste Maschine seiner Construktion in wirklicher Größe. Er führte an ihr alle von ihm ersonnenen neuen Organe aus, und brachte zugleich noch eine weitere Verbesserung an. Bisher ward der Dampfcylinder unmittelbar der äußeren Luft ausgesetzt, was Abkühlung und in Folge hiervon Dampfverlust verursachte. Um dies zu verhüten, umgab Watt den Cylinder mit einer Hülle, einem Mantel von Holz. Da dieses Material die Wärme schlecht leitet und durchläßt, so ist es sehr geeignet, den Cylinder gegen Abkühlung zu schützen.

Watt hatte in seiner Maschine offenbar einen großen Schatz gehoben. Watt und Röbuck.
Mit unermüdlichem Eifer hatte er denselben zu Tage gefördert, aber als er ihn endlich gefunden, ging er mit weit geringerem Eifer daran, die neue Erfindung im eigenen und im Interesse des Landes auszubeuten Die Schuld hiervon trug nicht etwa ein Verkennen des Werthes seiner Erfindung, Watt wußte dieselbe besser zu würdigen, als irgend Jemand. Er sah bereits im Geiste seine Maschine noch wesentlich verbessert, und zu einer Allgemeinheit der Anwendbarkeit gebracht, von der seine Umgebung noch keine Ahnung hatte. Auch waren keinerlei egoistische Absichten die Ursache, daß Watt die Segnungen seiner Erfindung seinem Lande gleichsam vorenthielt — jede Art von Eigennutz war seinem edlen Herzen fremd. Aber seine schon früher erwähnte Vorliebe für eine ruhige Existenz, seine Scheu vor

den bei industriellen Unternehmungen unvermeidlichen Wagnissen waren die Widerstände, welche Watt längere Zeit nicht dazu kommen ließen, ernstliche Schritte für die Ausbeutung seiner Erfindung zu thun. Ein glücklicher Zufall sollte ihm endlich über jene selbstgeschaffenen Schwierigkeiten hinweghelfen. Sein Haus war durch die Liebenswürdigkeit seiner Besitzer zu einem Sammelplatz fast aller bedeutenden Männer geworden, welche Glasgow damals besaß. Außer Black verkehrten dort unter anderen auch Adam Smith, der berühmte Nationalökonom, und Robert Simson, der unermüdliche Erforscher der uns vom Alterthume überlieferten mathematischen Werke. In diesen Kreis wurde eines Tages auch Röbuck eingeführt, ein reicher Kapitalist und Gründer der Carron'ner Hütte. Watt erzählte ihm von seiner Umgestaltung der alten Newcomen'schen Maschine. Mit gespannter Aufmerksamkeit hört Röbuck zu, und erkennt augenblicklich den großen Vortheil, den er bei dem Betriebe seiner Gruben und Salinen von Borrowstones aus der neuen Maschine ziehen kann. Von rascherem Entschlusse als Watt bietet er diesem gleich die zur Ausbeutung seiner Erfindung nöthigen Geldmittel an, wogegen er zwei Drittel des zu erzielenden Gewinnes beansprucht. Nachdem Watt den Vorschlag angenommen, begann er zu Kinneil eine Maschine zu bauen, welche dann zum Auspumpen der Wasser aus einer der Gruben zu Borrowstones an dem Schachte derselben aufgestellt wurde. Der Erfolg entsprach den Erwartungen vollkommen.

Um sich das ausschließliche Eigenthum seiner Erfindungen zu sichern, suchte Watt um ein dieselben schützendes Patent nach, welches ihm auch (1769) bewilligt wurde. In diesem ist bereits der Fall vorgesehen, wo wegen Mangels an Wasser eine Condensation des Dampfes nicht ausführbar ist. Watt behält sich das Recht vor, unter solchen Umständen Dampf von höherer Spannung anzuwenden, und denselben, nachdem er in der Maschine gewirkt hat, in die Luft entweichen zu lassen. Es ist dies das Prinzip der erst weit später zur Anwendung gekommenen Hochdruck-Dampfmaschine. Als so alle vorbereitenden Schritte gethan waren, sollte eine große, bloß zur Erbauung von Dampfmaschinen bestimmte Fabrik ins Leben gerufen werden. Dieser schöne Plan wurde leider vereitelt. Durch unglücklich abgelaufene Unternehmungen verlor Röbuck einen großen Theil seines Vermögens, und in Folge dessen löste sich seine Verbindung mit Watt wieder auf. Auf Letzteren scheint dieser traurige Ausgang einen sehr entmuthigenden Eindruck hervorgebracht zu haben. Er machte gar keine weiteren Versuche, seine Erfindung in die Praxis einzuführen, sondern kehrte wieder zu seiner Beschäftigung als Civil-Ingenieur zurück. Als solcher führte er einen Kanal aus, auf welchem die Kohlen der Monklander Gruben nach Glasgow geschafft werden sollten. Ferner baute er Brücken in Hamilton und Rutherglen, und arbeitete Pläne aus zur Verbesserung der Häfen von Ayr, Glasgow und Grenock. Endlich beschäftigte ihn die Untersuchung der Gegend, durch welche später der berühmte, ganz Nordschottland durchschneidende Caledonische Kanal geführt wurde. Während diese letztere Arbeit Watt von seiner Familie entfernt hielt, traf ihn ein furchtbarer Schlag des Schicksals: der Tod entriß ihm seine Gattin. Watt hatte sie unendlich lieb gehabt. Sein Tagebuch bezeugt den tiefen Schmerz, der in jener Zeit auf seiner Seele lastete. Als er nach diesem Trauerfalle zum ersten Male wieder nach Hause zurückkehrt, bleibt er tiefgebeugt auf der Schwelle stehen, über welche ihm nicht mehr „ihr liebreiches Willkommen" entgegen tönt; er hat nicht die Kraft,

die Zimmer wieder zu betreten, wo er „den Trost seines Lebens“ nicht mehr finden sollte. Mit Rücksicht auf diese Stimmung macht Arago in seiner auf Watt gehaltenen Gedächtnißrede eine Bemerkung, die ich mir erlaube, an dieser Stelle zu wiederholen. Er sagt: „Vielleicht macht die Schilderung einer so aufrichtigen und tiefen Trauer endlich jene Engherzigen verstummen, welche trotz der schlagendsten sie widerlegenden Beispiele jedem Manne Herz und Gemüth absprechen, dessen Geist sich genährt hat mit den fruchtbaren, erhabenen und unvergänglichen Wahrheiten der strengen Wissenschaften.“

Als der erste Schmerz bei Watt vorüber war, suchten seine Freunde das bei ihm fast ganz erstorbene Interesse für seine Erfindungen wieder neu zu beleben. Er schien ganz vergessen zu haben, daß ein großer Theil der Geschicke seines Landes in seiner Hand ruhte. Endlich, im Anfang des Jahres 1774, gelang es, Watt in Verbindung mit Boulton zu bringen. Dieser war einer der reichsten und einsichtsvollsten englischen Fabrikanten, und besaß zu Soho, in der Nähe von Birmingham, ein großartiges und ausgedehntes Werk, in welchem alle Arten Metallwaaren gefertigt wurden. Der Charakter Boulton's war der beste, welchen Watt zur Ergänzung des seinigen hätte finden können. Das gegenseitige Verhältniß der beiden Männer tritt am deutlichsten in den folgenden Worten hervor, mit welchen Watt selbst sich über Boulton ausspricht: „Die Freundschaft, welche er mir bewies, hat erst mit seinem Leben aufgehört. Diejenige, welche ich ihm gewidmet habe, macht es mir zur Pflicht, diese Gelegenheit, vielleicht die letzte, die sich mir darbieten wird, zu benutzen, um es auszusprechen, wie viel ich ihm zu danken habe. Der unablässigen Aufmunterung Boulton's, seiner Vorliebe für wissenschaftliche Entdeckungen und der Klugheit, mit welcher er diese für die Fortschritte der Gewerbe zu benutzen wußte, dann endlich der genauen Kenntniß, welche er von gewerblichen und geschäftlichen Angelegenheiten besaß, schreibe ich zum großen Theile die Erfolge zu, mit denen meine Anstrengungen gekrönt worden sind.“ Boulton erkannte gleich die große Zukunft der Erfindungen Watt's, und zögerte daher auch nicht, einen Gesellschaftsvertrag mit ihm abzuschließen, nach welchem sie gemeinschaftlich die Erbauung von Dampfmaschinen betreiben wollten. Da das Watt bewilligte Patent nur noch für einige Jahre Gültigkeit hatte, so suchten die beiden Genossen zunächst eine Verlängerung desselben zu erwirken, um das neue Geschäft in gehöriger Ausdehnung und mit der nöthigen Sicherheit gründen zu können. Da ihr Wunsch mit der Patent-Gesetzgebung in Widerspruch stand, so stießen sie anfänglich auf mancherlei Schwierigkeiten. Die große und allgemeine Wichtigkeit der neuen Erfindung veranlaßte jedoch das Parlament (1775), eine Verlängerung des ersten Patentes auf weitere 25 Jahre zu genehmigen. Nachdem dies erreicht war, wandelte Boulton einen Theil der ausgedehnten Werke in Soho in eine Fabrik für Dampfmaschinen um. Die erste hier gefertigte Maschine wurde in der Fabrik selbst aufgestellt und in Thätigkeit gesetzt, damit Jedermann sich von den Vorzügen derselben überzeugen könne. Genaue und wiederholte Versuche ergaben das außerordentlich günstige Resultat, daß jene Maschine nur $^1/_4$ so viel Brennstoff verbrauchte, wie eine Newcomen'sche Maschine von gleicher Leistung. Also eine Brennstoffersparniß von 75 % war das Ergebniß der Watt'schen Verbesserungen.

Watt und Boulton.

Die Schwierigkeiten, welche sich der Einführung jedes Neuen, auch selbst des Besseren, entgegenstellen, wußte Boulton auf sehr geschickte Weise zu beseitigen. Durch die von ihm getroffenen guten Anordnungen war es

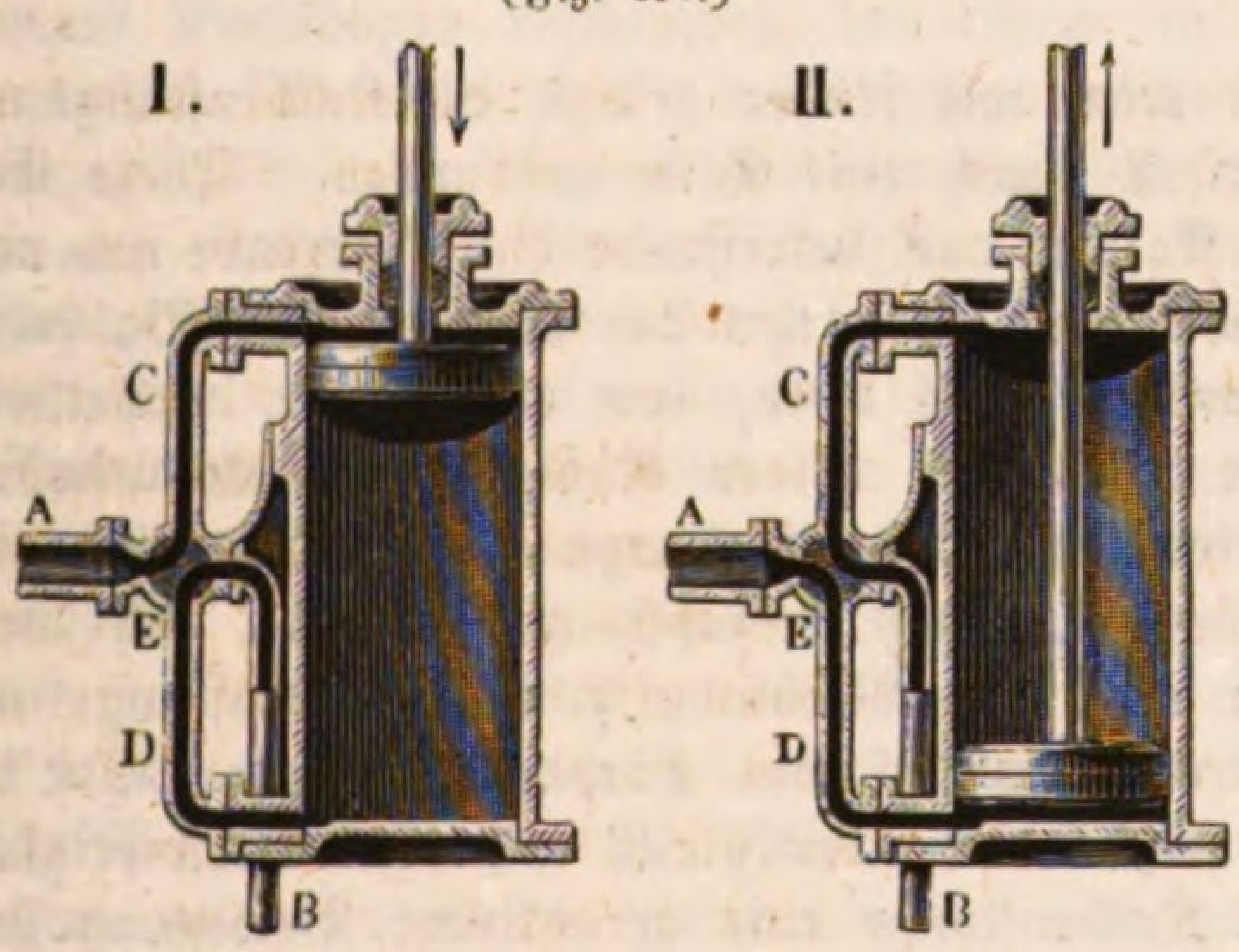
möglich gemacht, daß in kurzer Zeit mehrere Watt'sche Maschinen fertig hergestellt waren. Diese nun verkaufte er anfänglich gar nicht, sondern vermiethete sie nur gleichsam an Jeden, der sie benutzen wollte. Er unternahm auf eigene Kosten die Aufstellung und selbst die Instandhaltung der Maschinen und verlangte als Miethe bloß den dritten Theil der Summe, welche der durch die neue Einrichtung erzielten Brennstofferspamiß entsprach. Nur wenige Grubenbesitzer machten von dem ihnen so günstigen Anerbieten keinen Gebrauch. Watt und Boulton verliehen auf diese Weise Dampfmaschinen in einem Gesammtwerthe von 300,000 Thaler, ehe sie mit dem Verkauf derselben begannen, und auch hierbei nahmen sie alte Newcomen'sche Maschinen zu verhältnißmäßig sehr hohem Preise als Zahlung an. Aber trotz dieser scheinbaren Großmuth zogen sie aus ihren Maschinen einen außerordentlichen Gewinn. Aus der sich wiederholenden jährlichen Abgabe erwuchs ein schließlicher Preis der Maschinen von ganz ungewöhnlicher Höhe. So bezahlte z. B. die Grube von Chacewater, wo drei Dampfmaschinen in Thätigkeit waren, für das Drittel der Brennstofferspamiß jährlich 16000 Thlr. An jeder von Watt gelieferten Maschine war ein Zählwerk angebracht, welches die Anzahl der gemachten Kolbenspiele genau angab. War nun einmal bei der Aufstellung der Maschine die Brennstoffmenge ermittelt, welche sie gegen die durch sie verdrängte Newcomen'sche Maschine für eine gewisse Anzahl Kolbenspiele ersparte, so war es leicht, aus der an dem Zählwerk abgelesenen Zahl der Kolbenspiele die Menge des während einer bestimmten Zeit ersparten Brennstoffes herzuleiten. Mit diesem Geschäft war von der Fabrik ein besonderer Reisender beauftragt, der von Zeit zu Zeit nach den Angaben des unter Verschluß befindlichen Zählwerks die an Watt und Boulton zu entrichtende Abgabe erhob.

Doppeltwirkende Watt'sche Maschine. Die einfach wirkende Watt'sche Maschine hatte im Verhältniß zu dem Zwecke, welchem sie dienen sollte, eine hohe Stufe der Vollendung erreicht. Aber dieser Zweck, das Auspumpen der Grubenwasser, bestand, so wichtig er auch für den gesammten Bergbau sein mochte, doch nur in der Ausführung einer einzelnen der zahlreichen Arbeiten, welche von der Industrie gefordert werden. Ein Mann wie Watt konnte sich daher an dem bereits Erlangten nicht genügen lassen, seine Absichten und Pläne gingen weit über dieses hinaus. Er wollte aus der Dampfmaschine eine Kraftmaschine von allgemeinster Anwendbarkeit machen. Ueberall, wo Wasser und Brennstoff zu Gebote stehen, sollte die Dampfkraft gebraucht werden können, um jedwede mechanische Arbeit zu verrichten. Ein so allgemeiner Gebrauch der einfach wirkenden Maschine war zweier Umstände wegen nicht möglich. Bei ihr veranlaßt die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens bloß wieder eine andere hin- und hergehende Bewegung, nämlich die des Gestänges der zu treibenden Pumpe. Diese Art der Bewegung findet aber unmittelbar nur eine geringe Anwendung, da man alle in Maschinen vorkommenden Bewegungen, so weit es irgend möglich ist, in drehende zu verwandeln sucht. Letztere haben nämlich mancherlei Vorzüge; sie können ununterbrochen und gleichförmig, und fast mit jeder beliebigen Geschwindigkeit statt finden, was alles bei der hin- und hergehenden Bewegung nicht der Fall ist. Dann kann man aus einer drehenden Bewegung leicht andere Drehungen, und selbst verwickeltere Bewegungsarten ableiten. Bei den Wasserrädern, Turbinen und Windmühlen hat man den Vortheil, unmittelbar eine drehende Bewegung zu haben; bei der Dampfmaschine ist dies nicht wohl zu erlangen. Daher

mußte Watt zunächst auf Mittel sinnen, wie durch die Bewegung des Kolbens die Drehung einer Welle hervorgebracht werden kann. Waren dieselben gefunden, so konnte von dieser Welle aus mittelst Zahnräder oder Rollen und Riemen jede beliebige Maschine getrieben werden. Die bloße Hervorrufung einer drehenden Bewegung ist aber fast in allen Fällen noch nicht genügend, sondern es muß eben so sehr dafür gesorgt werden, daß die Drehung eine möglichst gleichförmige sei. Hiervon hängt die Güte der mit Maschinen gefertigten Produkte wesentlich ab; ist z. B. die Bewegung der Hauptwelle in einer Spinnerei eine ungleichförmige, so veranlaßt dies ein häufiges Abreißen der Fäden, und hierdurch Verschlechterung des Gespinnstes.

Zur Erzeugung einer gleichförmigen, drehenden Bewegung ist nun aber die einfach wirkende Maschine durchaus nicht geeignet. Denn da bei ihr der Dampfdruck bekanntlich nur während des Kolbenniederganges wirksam ist, so kann sie einen vorhandenen Widerstand nicht stetig und ununterbrochen überwinden, während des Kolbenaufganges ist dazu keine Kraft vorhanden. Watt war daher bemüht, auch die Aufwärtsbewegung des Kolbens durch den Dampfdruck bewirken zu lassen. Um dies zu erreichen, brachte er eine Einrichtung an, welche es möglich machte, sowohl den Cylinderraum oberhalb wie unterhalb des Kolbens abwechselnd mit dem Dampfkessel und dem Condensator in Verbindung zu setzen. Und zwar müssen die Dämpfe unter dem Kolben in den Condensator strömen, wenn über den Kolben neuer Dampf aus dem Kessel gelangt, und umgekehrt. Das Mittel, dessen sich Watt anfänglich zu diesem Zwecke bediente, ist der sogenannte Vierwegehahn; derselbe soll von Papin erfunden und zuerst bei dessen Luftmaschine angewandt worden sein. Der Vierwegehahn hat zwei Durchbohrungen, und kann von vier an ihm ausmündenden Rohre zwei abwechselnd mit jedem der beiden anderen in Verbindung setzen. Wie Watt denselben zur Erreichung seines Zweckes benutzte, ist aus Fig. 203 zu ersehen. Hier ist A das vom Kessel kommende Dampfrohr, B ein nach dem Condensator führendes Rohr, und C und D sind die nach den beiden Enden des Cylinders gehenden Rohre; E ist der Vierwegehahn. Hat derselbe die Stellung wie in I., so strömt durch A und C frischer Kesseldampf über den Kolben, während der unter demselben befindliche Dampf durch D und B nach dem Condensator entweicht. Es wirkt also der Dampfdruck auf die obere Fläche des Kolbens und treibt diesen abwärts. Läßt man nun, wenn der Kolben unten angekommen ist, den Vierwegehahn eine Vierteldrehung machen, so daß er die in II. dargestellte Lage annimmt, so gelangt jetzt durch A und D frischer Dampf unter den Kolben, während der obere Cylinderraum durch C und B mit dem Condensator in Verbindung steht. Der Dampfdruck bewegt also den Kolben aufwärts. Da der Vierwegehahn einige praktische Uebelstände hat, so sind andere, ihn ersetzende Vorrichtungen ausgesonnen worden. Diese

(Fig. 203.)



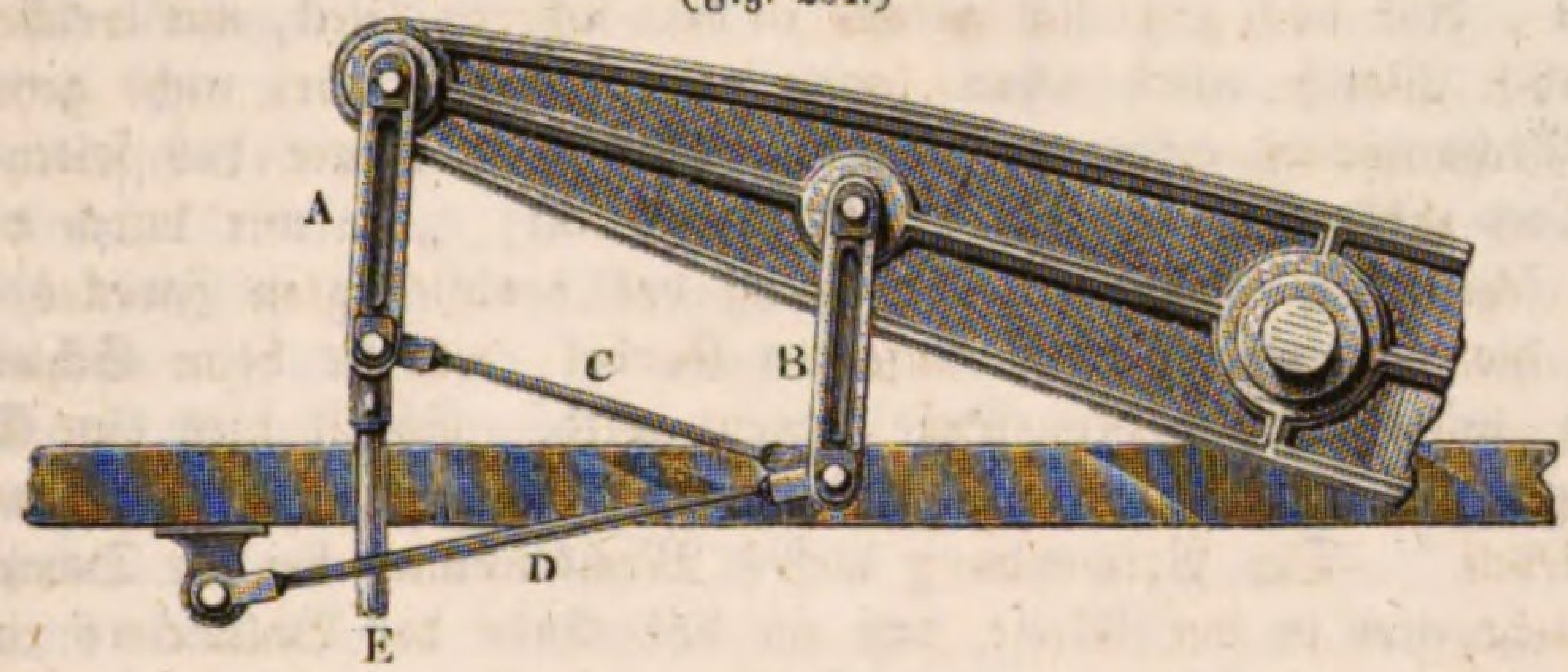
sind höchst mannichfach und zahlreich; die meisten bestehen aus Schiebern oder aus Ventilen, welche auf verschiedene Weise angeordnet sind. In allen Fällen werden diese Organe aber von der Maschine selbst bewegt. Die hierzu dienenden Theile bilden im Verein mit jenen Organen denjenigen Theil der Dampfmaschine, welcher den Namen Steuerung führt. Es ist nicht möglich, hier die verschiedenen und oft sehr complicirten Einrichtungen der Steuerung genauer zu beschreiben. Für den Zweck dieses Aufsatzes ist dies aber auch nicht erforderlich, da derselbe nicht darin besteht, die vollständige Construktion der Dampfmaschine kennen zu lehren, sondern nur darin, dasjenige der Einrichtung dieser Maschine zu deutlichem Verständniß zu bringen, was die Thätigkeit derselben wesentlich bedingt. Wie auch immer die Einrichtung der Steuerung bei einer Maschine sein mag, der Zweck derselben besteht, ausgenommen bei der einfach wirkenden Maschine, in allen Fällen darin, den Dampf aus dem Kessel abwechselnd auf die eine und auf die andere Seite des Kolbens zu führen, und den Dampf auf der entgegengesetzten Kolbenseite entweichen zu lassen. Eine Maschine, bei welcher auf diese Weise sowohl die auf- wie die niedergehende Bewegung des Kolbens durch den Dampfdruck bewirkt wird, heißt eine doppeltwirkende Maschine. Diese Benennung wird häufig dahin mißverstanden, als ob der Dampf bei dieser Maschine eine doppelt so große Wirkung hervorbrächte, als bei der einfach wirkenden. Daß dies durchaus nicht der Fall ist, wird aus dem Vorhergehenden klar sein. Denken wir uns von jeder der beiden Arten eine Maschine, und nehmen an, die Cylinder derselben hätten gleiche Größe und die Kolben machten gleichviel Spiele, so wird die doppeltwirkende Maschine in derselben Zeit freilich doppelt so viel Arbeit leisten, als die einfachwirkende, aber sie wird auch doppelt so viel Dampf als diese verbrauchen. Der Vorzug der doppeltwirkenden Maschine besteht also nicht in einer größeren, sondern nur in der ununterbrochenen und daher regelmäßigeren Wirkung des Dampfdruckes.

Das Watt'sche Parallelogramm.

Bei der älteren Maschine war, wie früher gesagt, die Kolbenstange mit dem einem Ende des Balanciers durch eine Kette verbunden. Diese Einrichtung war zulässig, da der Kolben das betreffende Balancierende nur nach abwärts zu ziehen brauchte, während umgekehrt der Kolben vom Balancier wieder nach oben gezogen wurde. Soll aber, wie es bei der doppeltwirkenden Maschine sein muß, der Kolben in beiden Richtungen, nach aufwärts und abwärts, auf den Balancier wirken, so ist hierzu die Kette, welche eine Kraft nur in einer und derselben Richtung fortzupflanzen vermag, nicht mehr brauchbar. In diesem Falle muß die Verbindung der Kolbenstange mit dem Balancier durch einen starren, unbiegsamen Körper geschehen. Bei der Verwirklichung dieser Absicht stößt man aber gleich auf eine Schwierigkeit, welche darin besteht, daß die Kolbenstange eine geradlinige Bewegung hat, während das Balancierende einen Kreisbogen beschreibt. Um die letztere Bewegung aus der ersteren zu erhalten, brachte Watt anfänglich an dem Balancierende ein Zahnkranz-Segment an, und verband eine in dieses eingreifende Zahnstange so mit der Kolbenstange, daß sie von dieser die Verlängerung bildete. Diese Vorrichtung erfüllte ihren Zweck zwar, aber doch nur unvollkommen, da das Ineinandergreifen der Zähne viele Stöße veranlaßte. Watt suchte diesem Uebelstande abzuhelfen, und es gelang ihm dies auch auf das Vollkommenste durch die, (1784) gemachte Erfindung eines höchst sinnreichen Mechanismus, welcher nach seinem Urheber das Watt'sche

Parallelogramm genannt wird. Dasselbe hat folgende Anordnung: An dem Balancier, Fig. 204, sind die beiden gleich langen Stangen A und B drehbar aufgehängt und zwar die eine an dem Balancierende, die andere in einiger Entfernung davon. Die unteren Enden von A u. B sind durch

(Fig. 204.)



die Stange C verbunden, aber in der Weise, daß A und B gegen C drehbar sind; an den Verbindungsstellen sind zu dem Ende Charniere angebracht. Eine vierte Stange D ist mit ihrem einen Ende um den Zapfen drehbar, welcher B und C verbindet; durch das andere Ende ist ein am Maschinengestell befestigter Zapfen gesteckt, um welchen die Stange D schwingen kann. Das obere Ende der Kolbenstange E ist drehbar an dem Zapfen befestigt, welcher die Stangen A und C zusammenhält. Wenn nun durch das Auf- und Niedergehen des Kolbens der Balancier in Bewegung gesetzt wird, so beginnt zugleich ein Gegeneinanderbewegen der eben genannten Stangen. Hierbei bilden die Stangen A, B und C fortwährend Seiten eines Parallelogramms, ein Umstand, welchem der ganze Mechanismus seinen Namen verdankt. Giebt man den einzelnen Stangen eine passende Länge, und dem festen Drehpunkt der Stange D eine geeignete Lage, so läßt es sich erreichen, daß, während beim Schwingen des Balanciers drei Eckpunkte des Parallelogramms Kreisbogen beschreiben, der vierte, in welchem die Kolbenstange befestigt ist, sich in einer Linie bewegt, welche von der geraden nur äußerst geringe, praktisch zuläßige Abweichungen zeigt. Während also das Parallelogramm eine feste Verbindung zwischen dem Balancier und der Kolbenstange herstellt, sichert es zugleich die nothwendige geradlinige Bewegung der letzteren. Jeder, der diesen Mechanismus einmal an einer in Gang befindlichen Dampfmaschine betrachtet hat, wird die Feinheit und fast möchte man sagen die Zierlichkeit seiner Bewegungen bewundert haben. Das Ersinnen dieser ebenso zweckmäßig als künstlich gegliederten Verbindung mag wohl den meisten Mechanikern, und mit Recht, als eine höchst schwierige Aufgabe erscheinen. Watt dagegen fand auch in diesem Falle die Lösung mit der größten Leichkeit. Auf die Frage, ob ihm die Erfindung des Parallelogramms viel Rechnen und Nachdenken gekostet habe, antwortete er: „Nein, und ich selbst war sehr erstaunt über die Vollkommenheit seiner Wirkung. Als ich es zum ersten Male in Thätigkeit sah, empfand ich das gleiche Vergnügen, als ob ich die Erfindung eines Anderen beobachtet hätte."

Kurbel.

Nachdem so ein geeignetes Mittel gefunden war, den abwechselnd auf die beiden Seiten des Kolbens wirkenden Dampfdruck auf den Balancier zu übertragen, blieb noch ein weiterer sehr wichtiger Schritt zu thun. Es mußten noch Theile angeordnet werden, durch welche die hin- und herschwingende Bewegung des Balanciers in die drehende einer Welle verwandelt wird. Vor Watt hatte bereits ein Mechaniker Stewart diesen Zweck durch ein com-

plicirtes Räderwerk zu erreichen versucht, jedoch ohne befriedigenden Erfolg. Das Mittel, welches Watt statt dessen vorschlug, ist so äußerst einfach und scheinbar so naheliegend, daß wohl mancher glaubt, ein Jeder hätte darauf kommen müssen. Und doch zeigt sich gerade in dem sicheren Blick, mit welchem Watt den großen Werth eines schon lange vorhandenen, aber nicht genug gewürdigten Mechanismus erkannte, recht auffällig das Genie des seltenen Mannes. „Von zahlreichen Vorschlägen," sagt Watt, „die mir durch den Kopf gingen, schien mir keiner zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes so geeignet, als die Anwendung einer einfachen Kurbel, wie sie beim Schleifstein gebraucht, und hier mit dem Fuße bewegt wird. Es ist dies eine Erfindung von großem Werth, deren Datum und bescheidenen Urheber man freilich nicht kennt." Die Verwendung dieses Mechanismus bei der Dampfmaschine geschieht nun in der Weise, daß an das Ende des Balanciers eine Treibstange drehbar aufgehängt wird. Das untere Ende derselben umfaßt den Zapfen einer Kurbel, welche auf der in Drehung zu setzenden Welle aufgekeilt ist. Während das obere Ende der Treibstange vom Balancier auf und nieder bewegt wird, schwingt dieselbe zugleich hin und her. Aus dieser doppelten Bewegung und dem Umstand, daß das untere Ende der Treibstange durch die Kurbel stets in derselben Entfernung von der Drehungsachse gehalten wird, entsteht die kreisförmige Bewegung des Kurbelzapfens. Die Hervorbringung einer drehenden Bewegung mittelst Kurbel und Treibstange kennt wohl jeder Leser aus eigener Anschauung, da sie, außer bei vielen Schleifsteinen, auch bei jedem Spinnrade vorkommt.

Trotzdem die Anwendung der Kurbel bei der Dampfmaschine von Watt ausgegangen war, sah er sich doch durch einen neckischen Zufall plötzlich genöthigt, auf jene zu verzichten. Sein Vorhaben war einem seiner Concurrenten, Herrn Wasbrough, von einem Arbeiter verrathen worden. Dieser Herr hatte nichts Eiligeres zu thun, als sich ein Patent zu verschaffen, welches die Benutzung der Kurbel bei der Dampfmaschine als sein ausschließliches Recht erklärte. Die englische Patent-Gesetzgebung machte es möglich, daß, während der Gebrauch der Kurbel bei allen anderen Maschinen Jedermann frei stand, Niemand, außer Herrn Wasbrough, dieselbe bei der Dampfmaschine benutzen konnte. Wollte Watt dies dennoch thun, so hätte er den Patentinhaber entschädigen müssen. Dies verschmähte er jedoch und half sich lieber dadurch, daß er einen die Kurbel ersetzenden Mechanismus erfand; es ist dies das sogenannte Planetenrad, eine sinnreiche Verbindung mehrerer Räder. Da dasselbe aber weniger einfach und haltbar ist, als die Kurbel, so kehrte Watt zu der Anwendung der letzteren zurück, sobald das im Wege stehende Patent abgelaufen war.

Schwungrad. Wie schon früher gesagt wurde, ist es für die allgemeine Anwendbarkeit der Dampfmaschine erforderlich, daß die Drehung der von ihr zunächst bewegten Welle, der sogenannten Kurbelwelle, eine möglichst gleichförmige sei. Hierfür ist aber die Gesammtanordnung der Dampfmaschine wenig günstig. Gleich die erste, vom Dampfdruck unmittelbar hervorgerufene Bewegung, die des Kolbens, ist zur Erzeugung einer gleichförmigen Bewegung nicht sehr geeignet. Denn jedesmal wenn der Kolben oben oder unten im Cylinder angekommen ist, und seine Bewegung aus der einen Richtung in die gerade entgegengesetzte übergeht, gelangt derselbe für den Augenblick vollständig zur Ruhe. Kein Körper kann aber plötzlich eine gewisse Geschwindigkeit annehmen oder verlieren. Die Geschwindigkeit des Kolbens zwischen seinen beiden Ruhe-

punkten muß daher anfänglich wachsen, einmal einen größten Werth erreichen, und von hieran wieder bis zum Verschwinden abnehmen. Die Bewegung des Kolbens ist also eine ungleichförmige, und veranlaßt zunächst eine eben solche Bewegung des Balanciers, an welcher das obere Ende der Treibstange Theil nimmt. Der auf den Kolben wirkende Dampfdruck ist während eines Kolbenschubes auch nicht ganz constant; am Anfang des Kolbens ist er etwas kleiner als während des übrigen Theiles. Dieser veränderliche Druck pflanzt sich natürlich bis zur Treibstange fort. Soll aber diese die Kurbelwelle gleichförmig umtreiben — wenn der Bewegung der letzteren ein gleichförmiger Widerstand entgegenwirkt — so müßte sowohl der in der Richtung der Treibstange wirkende Druck, als namentlich auch die Neigung derselben gegen die Kurbel unveränderlich sein. Beides ist nun nicht der Fall. Wenn die Kurbel ihren höchsten oder tiefsten Stand hat, so fällt ihre Richtung mit der Treibstange zusammen, und es kann diese dann gar nicht auf Umdrehung der Kurbel wirken. Aus diesem Grunde heißen auch jene beiden Stellungen der Kurbel die todten Punkte derselben. Ueber diese vermag der bloße Dampfdruck die Kurbel nicht hinweg zu bringen. Aber auch zwischen den beiden todten Punkten ist die Wirkung der Treibstange auf die Kurbel eine sehr veränderliche. Bewegt sich dieselbe von einem todten Punkte bis zum andern, so ist die von der Treibstange auf sie ausgeübte Wirkung anfänglich gleich Null, sie wächst dann bis zu einem Maximum an, und nimmt von diesem wieder bis zu Null ab. Daß dies, wenn nicht für Abhülfe gesorgt würde, eine sehr ungleichförmige Drehung der Kurbelwelle verursachen müßte, oder wohl gar eine ununterbrochene Bewegung derselben (der todten Punkte wegen) unmöglich machen könnte, ist leicht einzusehen. Also auch die doppeltwirkende Maschine ist noch nicht so ohne Weiteres zu einer allgemeinen Kraftmaschine geeignet; es muß vorher noch gelingen, ihren Bewegungen die nöthige Stetigkeit und Regelmäßigkeit zu verleihen. Hierzu giebt es glücklicherweise ein sehr einfaches Mittel: die Anbringung eines Schwungrades. Ein solches ist ein Rad von beträchtlichem Durchmesser, dessen Kranz ein großes Gewicht hat. Meist wird das Schwungrad auf der Kurbelwelle befestigt, so daß es sich mit dieser drehen muß.

Es ist, wenn, wie hier, nur wenige Kenntnisse aus der Mechanik vorausgesetzt werden dürfen, nicht ganz leicht, die Rolle zu erklären. welche das Schwungrad bei der Thätigkeit der Dampfmaschine spielt. Daß dasselbe die Kraft der Maschine vermehre, ist eine ziemlich verbreitete, aber durchaus irrige Ansicht. Das Schwungrad kann einzig und allein den Zweck erfüllen, die drehende Bewegung der Kurbelwelle zu einer genügend gleichförmigen zu machen. Sehr ähnlich ist die Wirkungsweise eines Schwungrades derjenigen eines Sammelteiches bei einer Wasserleitung. Denken wir uns eine solche, bei welcher der Wasserabfluß möglichst gleichförmig sein soll, während sich der Zufluß zwischen gewissen Grenzen fortwährend ändert. In diesem Falle darf man den Abfluß nicht unmittelbar vom Zufluß abhängen lassen, indem sonst die Unregelmäßigkeit des letzteren direkt auf jenen übertragen würde. Die Abhängigkeit zwischen Zu- und Abfluß läßt sich aber, wenn auch niemals ganz aufheben, doch bis zu jedem beliebigen Grade verringern, wenn in die Leitung ein genügend großer Wasserbehälter eingeschaltet wird. Fließt dann in einer gewissen Zeit mehr Wasser zu, als regelmäßig abfließen soll, so veranlaßt dies zunächst ein Steigen des Wassers im Sammelteiche, in Folge dessen auch der Abfluß zunimmt. Aber diese Vermehrung des Abflusses

wird bedeutend kleiner sein, als der gleichzeitige Ueberschuß des Zuflusses, denn der größte Theil von diesem wird von dem Sammelteiche einstweilen aufgenommen. Findet in einer folgenden Periode das Entgegengesetzte statt, beträgt der regelmäßige Abfluß mehr als der augenblickliche Zufluß, so kann der Mangel zum größten Theil aus dem Inhalte des Sammelteiches ersetzt werden, indem derselbe nun wieder hergiebt, was er in der vorhergehenden Periode zurückgehalten hat.

Ist die Wirkung, welche der Dampfdruck in einer gewissen Zeit auf die Kurbelwelle ausübt, größer als diejenige, welche während derselben Zeit die von der Maschine zu überwindenden Widerstände in Anspruch nehmen, so veranlaßt jener Ueberschuß eine schnellere Bewegung der ganzen Maschine. Diese Zunahme der Geschwindigkeit wird aber um so geringer sein, je größer die Masse ist, welche daran Theil nehmen muß. Daher wird ein Schwungrad von bedeutendem Gewicht eine aus der eben genannten Ursache entstehende Beschleunigung des Ganges der Maschine zu mäßigen vermögen. Es nimmt dasselbe dabei, indem seine Bewegung etwas schneller wird, die im Augenblick nicht zu Verwendung kommende Wirkung des Dampfdruckes in sich auf; ähnlich wie ein Sammelteich das zuviel zuströmende Wasser. Diese aufgenommene Wirkung spart das Schwungrad gleichsam auf, bis in einer anderen Periode die Wirkung des Dampfdruckes kleiner ist, als zu einer gleichförmigen Ueberwindung der Widerstände erforderlich ist. Der Gang der Maschine muß dann langsamer werden; da aber in Folge dessen das Schwungrad die früher aufgesammelte Arbeit wieder abgiebt, so mäßigt dasselbe jetzt eben so die Verzögerung, wie früher die Beschleunigung des Maschinenganges. Die Thätigkeit des Schwungrades macht es auch der Maschine möglich, mit Leichtigkeit über die beiden todten Punkte, in denen der Dampf gar keine Wirkung ausübt, hinweg zu kommen. Während jeder Umdrehung der Kurbel tritt die Wirkung des Dampfdruckes zu derjenigen, welche die Ueberwindung der Widerstände gleichförmig in Anspruch nimmt, in eine Reihe von Verhältnissen, welche, so lange der Dampfdruck und die Widerstände sich nicht ändern, für alle einzelnen Kurbelumdrehungen in genau der gleichen Weise wiederkehren. Die Geschwindigkeit der Kurbelwelle wird daher auch für die einzelnen Umdrehungen zwischen denselben Grenzen schwanken. Diese Grenzen kann man nun eben durch das Gewicht und die Umfangsgeschwindigkeit, welche man dem Schwungrade giebt, beliebig einander nähern, und so eine für den jedesmaligen Fall genügende Gleichförmigkeit der drehenden Bewegung der Kurbelwelle erzielen.

Drosselklappe. Das Schwungrad vermag nur diejenige Ungleichförmigkeit der Wirkung des Dampfes zu mildern und auszugleichen, welche durch die Einrichtung der Maschine während jeder Kurbeldrehung verursacht wird. Dasselbe kann indeß nicht verhindern, daß die Maschine einen schnelleren oder langsameren Gang annimmt, wenn von den beiden Größen: Druck des Dampfes auf den Kolben, und Widerstand, welchen die Maschine zu überwinden hat, die eine sich ohne die andere, oder nicht übereinstimmend mit ihr, ändert. Dieser Fall müßte aber, wenn keine Vorkehrung dagegen getroffen würde, bei jeder Dampfmaschine häufig eintreten. Denn hat eine solche z. B. mehrere hundert Webstühle oder Spinnmaschinen zu treiben, so werden sich von denselben immer einige nicht in Thätigkeit befinden, bald mehr, bald weniger. Dies verursacht nun gleich, daß diese Dampfmaschine einen regellos wechselnden, bald größeren, bald kleineren Widerstand zu bewältigen hat. Eben so leicht

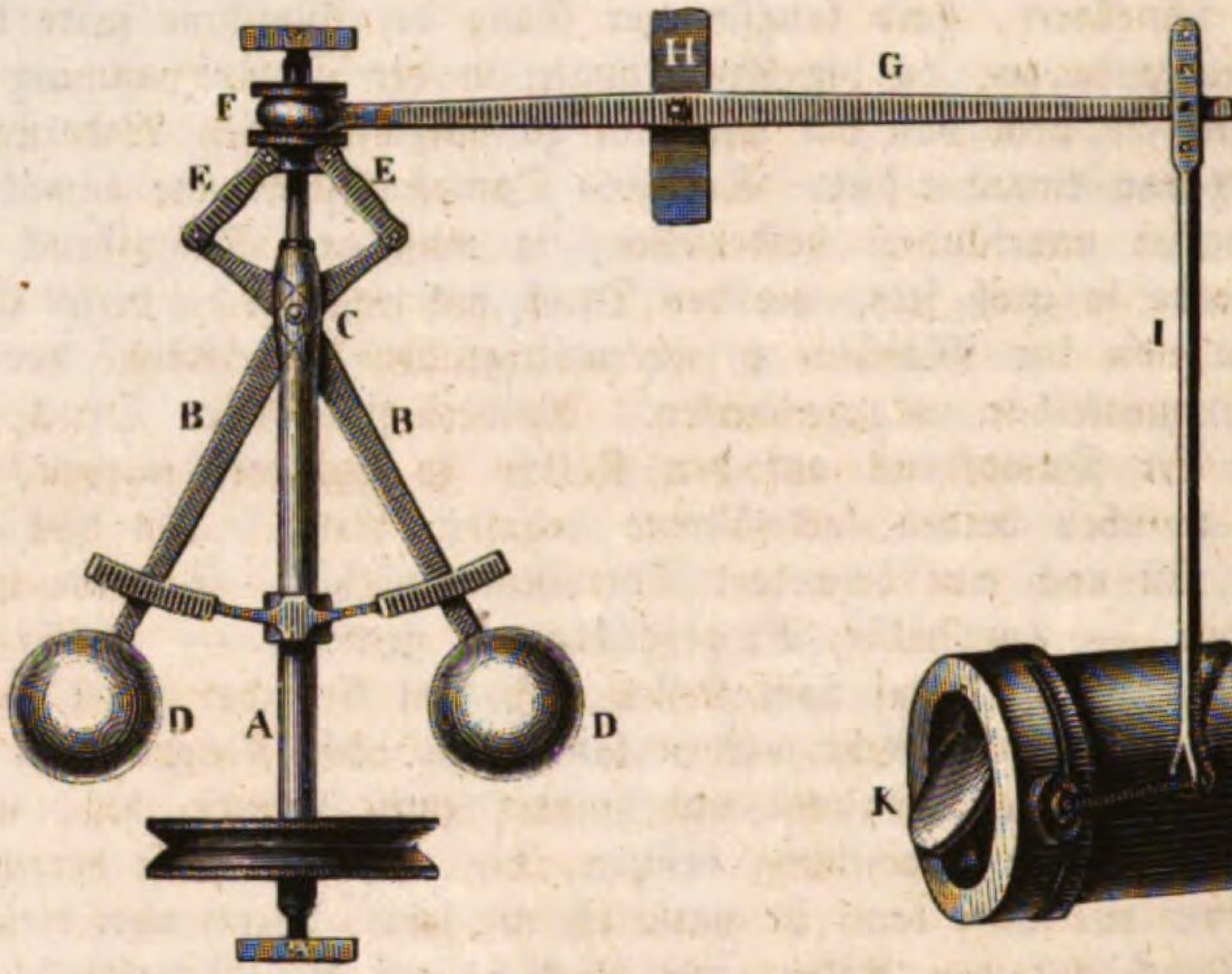
ist die Dampfspannung Aenderungen unterworfen. Es werden solche durch jede Ungleichförmigkeit in der Unterhaltung des Feuers und in der Zuführung von frischem Wasser in den Kessel hervorgerufen, und auch die sorgfältigste Wartung vermag sie nicht ganz zu vermeiden. Kann nun der Dampf durch ein genügend weites Rohr unbehindert aus dem Kessel in den Cylinder strömen, so wird in diesem stets dieselbe Dampfspannung herrschen, wie in jenem. Ein bald schnellerer, bald langsamerer Gang der Maschine wäre die nothwendige Folge davon, da die Aenderungen in der Dampfspannung und die Aenderungen in dem von der Maschine zu überwindenden Widerstand ganz unabhängig von einander sind. Soll eine Dampfmaschine eine einmal erlangte Geschwindigkeit unverändert beibehalten, so muß der Dampfdruck auf den Kolben gerade so groß sein, wie der Druck, mit welchem bei dieser Geschwindigkeit alle von der Maschine zu überwältigenden Widerstände der Kolbenbewegung unmittelbar entgegenwirken. Aendert sich dieser Druck, so muß gleichzeitig der Dampfdruck auf den Kolben so geändert werden, daß die Gleichheit zwischen beiden fortwährend erhalten bleibt. Um dies bewirken zu können, ist noch eine besondere Vorrichtung nöthig. Dieselbe besteht in einer Klappe — gewöhnlich Drosselklappe genannt — welche in dem Rohre, welches den Dampf vom Kessel nach dem Cylinder führt, angebracht wird, und von außen gedreht werden kann. Ist diese Klappe ganz geöffnet, so strömt der Dampf möglichst unbehindert zum Cylinder hin, und wird dann in diesem eine Spannung besitzen, die nahe gleich ist derjenigen im Kessel; größer wie diese kann sie natürlich nie sein. Wenn aber dieser größtmögliche Druck auf den Kolben mit Rücksicht auf die Widerstände zu groß ist, so kann man denselben dadurch beliebig verkleinern, daß man die Drosselklappe mehr und mehr schließt. Hierdurch wird nämlich zunächst die Menge des Dampfes, welche in einer gewissen Zeit in den Cylinder einströmt, verkleinert. Man kann nun gerade nur soviel Dampf in den Cylinder gelangen lassen, daß sich derselbe, wenn er in der dem normalen Gange der Maschine entsprechenden Zeit eine Cylinderfüllung bewirken soll, hierbei soviel ausdehnen muß, daß seine Spannung nur noch einen mit den Widerständen in Einklang stehenden Druck auf den Kolben zu äußern vermag. Die Anwendung der Drosselklappe macht also die Dampfspannung im Cylinder unabhängig von der im Kessel, und gestattet es, jene von beliebiger Kleinheit bis zu nahe derjenigen Größe zu verändern, welche die Dampfspannung im Kessel besitzt.

Man könnte nun den Maschinenwärter damit beauftragen, der Drosselklappe stets eine solche Stellung zu geben, daß die normale Geschwindigkeit der Maschine unverändert bliebe. Diese Einrichtung würde aber den Gang der Maschine zu sehr von der Aufmerksamkeit und Sorgfalt des Wärters abhängig machen. Watt, der in seinem Vaterlande überall die segensreichen Erfolge der Selbst-Regierung vor Augen hatte, glaubte mit Recht, daß auch die Dampfmaschine um so vollkommner sei, je mehr sie von der Leitung ihres Wärters unabhängig gemacht, und befähigt werde, ihre Thätigkeit selbst zu regeln und stetig fortzuführen. Hierzu war, wie wir schon früher gesehen haben, die Bewegung der Steuerung durch die Maschine ein erster wichtiger Schritt. Einen zweiten that Watt, indem er einen höchst sinnreichen Mechanismus ersann, welcher die Dampfmaschine in Stand setzt, selbst und ohne jede fremde Hülfe der Drosselklappe fortwährend eine solche Stellung zu geben, daß die Maschine nie bedeutend von ihrem normalen Gange ab- Centrifugal-Regulator

weicht, mögen sich auch die Dampfspannung im Kessel und die zu überwindenden Widerstände beliebig ändern.

Jener von Watt erfundene Mechanismus, welcher den Namen Watt'scher oder Centrifugal-Regulator führt, hat gewöhnlich folgende Einrichtung:

(Fig. 205.)



Eine vertikal stehende Welle A, Fig. 205, wird durch passend angeordnete Lager in ihrer vertikalen Stellung erhalten. Durch einen in der Welle angebrachten Schlitz gehen zwei Hebel B und B hindurch, welche sich beide um den durch sie und die Welle hindurchgesteckten Zapfen C drehen können. Auf die unteren Enden dieser Hebel sind metallne Kugeln D und D von bedeutendem Gewichte aufgesteckt. An den oberen Enden sind mittelst Zapfen die kurzen Stangen E und E drehbar befestigt, deren andere Enden ebenso mit einem Stücke F verbunden sind, welches auf der Welle auf und ab gleiten kann. In eine in das Gleitstück F eingedrehte, ganz herumlaufende Rinne greift das eine Ende des doppelarmigen, um den Zapfen H drehbaren Hebels G ein. An dem anderen Ende desselben ist ein Zapfen angebracht, an dem die Stange I angehängt werden kann. Diese steht unten mit dem Hebel in Verbindung, welcher auf der Achse der Drosselklappe K sitzt. Die beschriebene Anordnung der einzelnen Theile macht es möglich, daß, während die Welle A sich in Umdrehung befindet, auch gleichzeitig noch eine Drehung der Hebel B und B um C stattfinden kann. Geschieht diese Drehung in der Weise, daß die Kugeln sich von einander entfernen, so wird das Gleitstück F abwärts, die Stange I dagegen aufwärts gezogen, und in Folge dessen die Drosselklappe mehr geschlossen. Das gerade Entgegengesetzte tritt ein, wenn sich die Kugeln einander nähern. Die Stellung und Entfernung der Kugeln von einander bedingt also die Stellung der Drosselklappe, und wenn es daher möglich ist, die erstere von der Geschwindigkeit der Maschine abhängig zu machen, so kann diese auch die Stellung der Drosselklappe reguliren. Jenes ist aber leicht zu bewirken, indem man nur eine Einrichtung zu treffen braucht, durch welche die Drehung der Regulatorwelle

A von der Kurbelwelle der Maschine aus geschieht. Hierzu kann man z. B. auf beiden Wellen Rollen oder Schnurscheiben befestigen, und um diese einen Riemen oder eine Schnur fest anspannen.

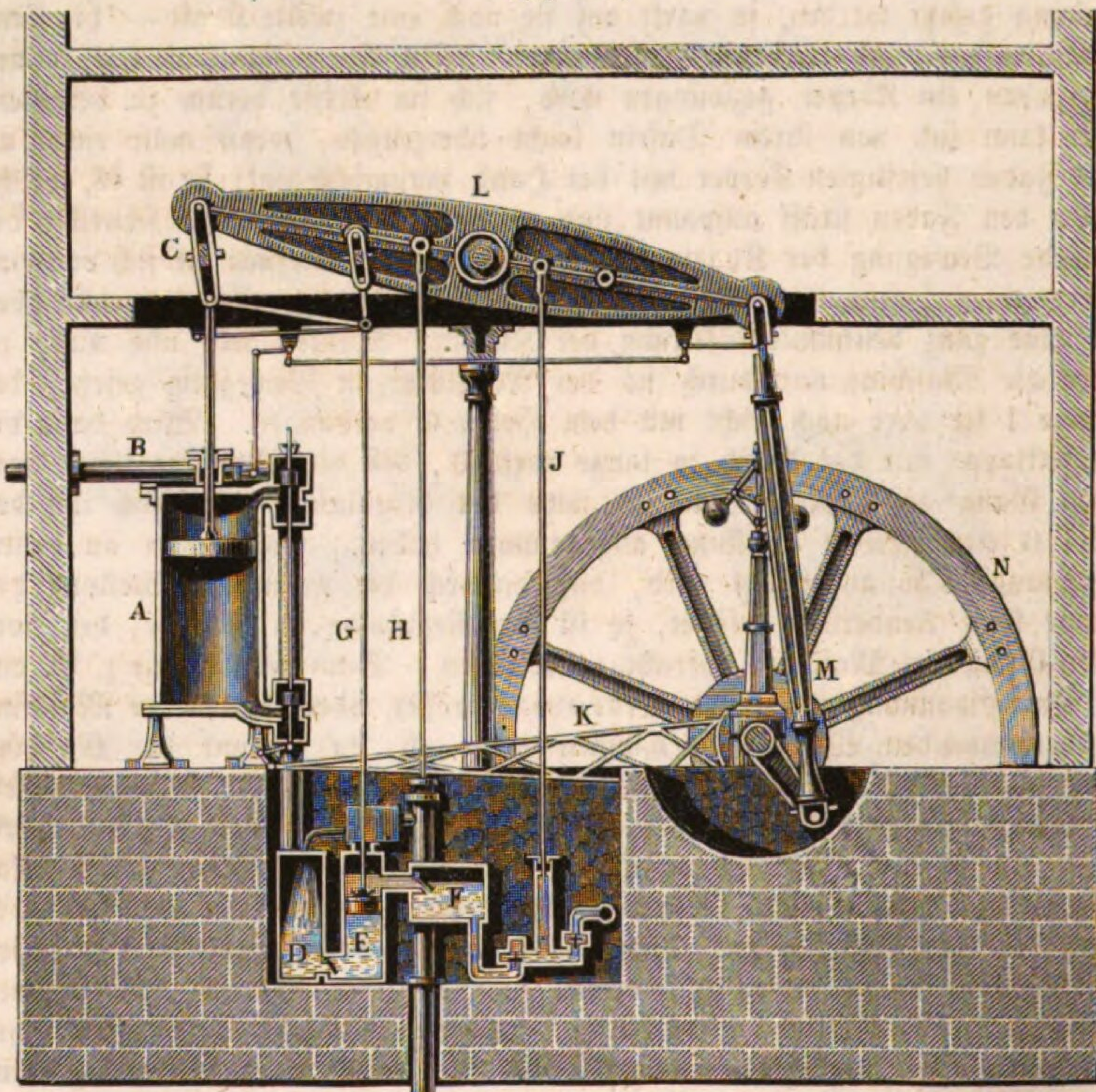
Wenn sich die Regulatorwelle in Ruhe befindet, so wirkt auf die Kugeln nur die Schwerkraft (ihr eigenes Gewicht); sie werden daher eine möglichst tiefe Stellung einnehmen und sich der Welle, so viel es geht, nähern. Sobald aber die Regulatorwelle, und natürlich mit ihr die beiden Kugeln, in Drehung gesetzt werden, so wirkt auf sie noch eine zweite Kraft — die Centrifugalkraft — und treibt sie auseinander. (Die Centrifugalkraft tritt immer auf, wenn ein Körper gezwungen wird, sich im Kreise herum zu bewegen. Man kann sich von ihrem Dasein leicht überzeugen, wenn man einen an einen Faden befestigten Körper mit der Hand herumschwingt; sie ist es, welche hierbei den Faden straff anspannt und zu zerreißen sucht.) Je schneller die drehende Bewegung der Kugeln wird, desto weiter entfernen sie sich von einander; einer bestimmten Geschwindigkeit der Regulatorwelle entspricht aber auch eine ganz bestimmte Stellung der Kugeln. Denken wir uns nun, es werde die Maschine und durch sie der Regulator in Bewegung gesetzt, die Stange I sei aber noch nicht mit dem Hebel G verbunden. Wird dann die Drosselklappe mit der Hand so lange verstellt, bis die Maschine ihren normalen Gang angenommen hat, so wird der Regulator und durch ihn der Hebel G eine gewisse Stellung angenommen haben. Wenn nun an diesen die Stange I so angehängt wird, daß dadurch die gefundene Stellung der Klappe keine Aenderung erfährt, so ist der Regulator im Stande, den normalen Gang der Maschine aufrecht zu erhalten. Denn nehmen wir z. B. an, die Dampfspannung im Kessel werde etwas größer, oder die von der Maschine zu überwindenden Widerstände nähmen etwas ab, so beginnt die Maschine gleich schneller zu gehen. Gleichzeitig wächst aber auch die Geschwindigkeit des Regulators, die Kugeln fliegen weiter auseinander und drehen die Drosselklappe etwas zu. Hierdurch vermindert sich der Dampfzufluß und die Maschine nimmt ihre normale Geschwindigkeit wieder an. Wenn umgekehrt der Gang der Maschine sich aus irgend einer Ursache verlangsamt hat, so fallen die Regulatorkugeln etwas zusammen, und bewirken dadurch ein größeres Oeffnen der Drosselklappe, wodurch dann die Maschine bald wieder ihre gewöhnliche Geschwindigkeit erlangt. Wie man sieht, macht dieser Regulator zwar nicht jedes Abweichen von dem normalen Gange der Maschine unmöglich, aber er schließt dasselbe in genügend enge Grenzen ein.

Soll die Watt'sche Maschine während ihres Ganges möglichst wenig Hülfe von Menschenhand bedürfen, so muß sie auch noch in den Stand gesetzt werden, das zur Condensation erforderliche kalte Wasser selbst herbei zu schaffen, und das im Kessel verdampfte Wasser fortwährend zu ersetzen. Hierzu werden zwei Pumpen angebracht, und zwar so, daß dieselben vom Balancier in Bewegung gesetzt werden können. Die eine derselben, die sogenannte Kaltwasserpumpe, hebt kaltes Wasser zunächst in einem Behälter, von welchem aus dasselbe durch ein mit einem Hahn versehenes Rohr dem Condensator nach Bedarf zugeführt wird. Da das von der Luftpumpe aus dem Condensator herausgeschaffte Wasser eine Temperatur von etwa 40^0 besitzt, so ist es vortheilhaft, dasselbe zur Speisung des Kessels zu benutzen. Man läßt daher einen Theil des aus der Luftpumpe kommenden Wassers von der zur Kesselspeisung dienenden Pumpe, der Warmwasserpumpe, aufsaugen und in den Kessel drücken.

Watt'sche Maschine.

Alle an einer doppeltwirkenden Watt'schen Maschine vorkommenden Organe sind nun in dem Vorhergehenden ihrer Einrichtung und ihrem Zwecke nach besprochen worden. Es erübrigt nur noch, die ganze Zusammenstellung einer solchen Maschine mit Hülfe einer Zeichnung zur Anschauung zu bringen. Zum Verständniß derselben werden die folgenden Erklärungen genügen. A, Fig. 206, ist der Dampfcylinder; dicht neben demselben befindet sich der

(Fig. 206.)



Mechanismus, durch welchen die Räume über und unter dem Kolben abwechselnd mit dem Kessel und mit dem Condensator in Verbindung gesetzt werden. Es ist hierzu jedoch nicht der früher beschriebene Vierwegehahn, sondern eine sogenannte Kolbensteuerung angeordnet. An den nach den beiden Cylinderenden führenden Dampfwegen schieben sich zwei Kolben vorbei. Je nachdem dieselben über oder unter den Dampfwegen stehen, tritt frischer Dampf über oder unter den Kolben und gleichzeitig der gebrauchte Dampf in den Condensator. Bei der in der Zeichnung angenommenen Stellung der Steuerung bewegt sich der Kolben aufwärts. Der Dampf aus dem Kessel wird durch das Rohr B zugeführt, in welchem sich auch die Drosselklappe befindet; durch einige kleine Hebel und Stangen wird dieselbe von dem Regulator aus bewegt. Die durch eine Stopfbüchse hindurchgehende Kolbenstange steht mittelst des Parallelogramms C mit dem Balancier L in Verbindung. Die Achse des letzteren dreht sich in Lagern, welche von

zwei starken gußeisernen Säulen getragen werden. Um das andere Balancierende schwingt die Schubstange M, die unten an den Kurbelzapfen faßt. Auf der Kurbelwelle sitzt das Schwungrad N und eine sogenannte excentrische Scheibe, welche mit Hülfe der Stange K und einiger Hebel die Steuerungskolben auf- und abbewegt. Aus dem die letzteren umschließenden Gehäuse strömt der verbrauchte Dampf durch ein Rohr nach dem Condensator D. In diesen bringt durch eine Brause das Wasser, welches die durch die Stange H bewegte Kaltwasserpumpe herbeischafft. Gleich neben dem Condensator, und mit ihm durch ein Rohr verbunden, befindet sich die Luftpumpe E. In dem Verbindungsrohre ist eine nach der Luftpumpe hin sich öffnende Klappe angebracht. Der Kolben der Luftpumpe trägt wie der einer jeden Saugpumpe, ein oder mehrere Ventile. Dieselben schließen sich, wenn der Kolben sich in die Höhe bewegt, und es tritt dann Wasser aus dem Condensator in die Luftpumpe. Gleichzeitig wird das über den Kolben befindliche Wasser in das Gefäß F gehoben. Geht der Luftpumpenkolben abwärts, so schließt sich die Klappe nach dem Condensator hin, dagegen öffnen sich die Kolbenventile und durch dieselben dringt das eben unter den Kolben gelangte Wasser nun über denselben. Zur Bewegung der Luftpumpe dient die Stange G. Ein Theil des Condensator-Wassers wird aus dem Gefäße F durch die von der Stange I bewegte Warmwasserpumpe nach dem Kessel geschafft. Diese Pumpe ist in dem vorliegenden Falle als eine kleine Saug- und Druckpumpe construirt. Der Cylinder, die Säulen, welche den Balancier tragen, und das Lager für die Kurbelwelle, ruhen auf starken Fundamenten von Quadersteinen. In diesen ist unter dem Boden des Maschinenhauses eine Art von Grube angebracht, welche den Condensator und die sämmtlichen Pumpen aufnimmt.

Die große Aufgabe, welche Watt sich beim Beginne seiner Laufbahn gestellt, hatte er vollständig gelöst. Die eben beschriebene Maschine ist nicht mehr bloß zum Wasserpumpen geeignet; von ihrer sich gleichförmig drehenden Kurbelwelle aus kann sie mittelst Rädern und Wellen die verschiedensten Arbeitmaschinen einer jeden Fabrik in Thätigkeit setzen. Sie kann Dreh- und Bohrbänke, Webstühle und Spinnmaschinen, Gebläse und Ventilatoren, Hammer- und Walzwerke gleich gut bewegen. Die Dampfmaschine wurde in Folge dessen in England bald die wichtigste Kraftmaschine. Die großen Werkstätten in Soho waren kaum im Stande allen Aufträgen zu genügen. Watt und Boulton erndteten für ihre Mühen und Anstrengungen reichen Lohn — aber auch von vielen Seiten Neid und Mißgunst. Ueberall traten ihnen Nachahmer in den Weg, und versuchten ihre Privilegien zu verletzen und wo möglich ganz umzustoßen. Um ihr geschäftliches Unternehmen gegen dies drohende Unheil zu sichern, ging Watt selbst nach London und verfocht hier während acht Jahren seine angegriffenen Rechte. Endlich krönte der Erfolg seine muthige Ausdauer und alle von seinen Gegnern versuchten Ansprüche wurden zurückgewiesen.

Als im Jahre 1800 der auf 25 Jahre abgeschlossene Gesellschaftsvertrag zwischen Watt und Boulton zu Ende ging, zogen beide sich gänzlich von den Geschäften zurück. Sie wurden durch ihre Söhne ersetzt, welche die von den Vätern in Soho gegründeten Werke fortführten. Watt schlug seinen Wohnsitz in Heathfield auf, einer Besitzung in der Nähe von Soho, welche er im Jahre 1790 gekauft hatte. Nachdem er einige Jahre Wittwer gewesen war, hatte er zum zweiten Mal geheirathet, und zwar die Tochter

Watt's letzte Jahre.

eines Fabrikanten, Fräulein Mac-Gregor. Vielseitige Geistesbildung und Sinn für die höheren Interessen des Lebens machten dieselbe zu einer ihres Mannes würdigen Gattin, und dessen Ehe mit ihr zu einer äußerst glücklichen. Die Liebenswürdigkeit und freundliche Milde, von denen Watt's ganzes Wesen durchdrungen war, hatten allen herben Lebenserfahrungen getrotzt und dieselben überdauert. Sein Haus war nach wie vor der Sammelplatz trefflicher Menschen, welche sich an der weisen und friedlichen, und doch überall ins Leben hinaustretenden Philosophie seines Besitzers erfreuten und kräftigten. Eine sehr anschauliche Schilderung dieses schönen Kreises giebt Walter Scott in der Vorrede zu seinem „Kloster". Er sagt daselbst: „Watt war nicht nur der tiefe Gelehrte; derjenige, welcher aus gewissen Verbindungen von Zahlen und Kräften neue Anwendungen gezogen hatte; er nahm nicht nur eine der ersten Stellen unter denjenigen ein, die sich durch die Allgemeinheit ihrer Bildung auszeichnen, er war auch der beste, der liebenswürdigste Mensch. Das einzige Mal, wo ich ihm begegnete, war er von einem kleinen Verein von Schriftstellern aus dem Norden umgeben. Da sah und hörte ich denn, was ich nie wieder sehen und hören werde. Der lebhafte, liebenswürdige und wohlwollende Greis, der in seinem 81sten Jahre stand, nahm an allen Fragen ein reges Interesse; seine Kenntnisse standen Jedem zur Verfügung, der sie in Anspruch nahm. Er verbreitete die Schätze seines Wissens und seiner Einbildungskraft über alle Gegenstände. Unter den Anwesenden befand sich ein gelehrter Sprachforscher; Watt unterhielt sich mit ihm über den Ursprung des Alphabets, als wenn er ein Zeitgenosse von Cadmus gewesen wäre. Als sich ein berühmter Kritiker an der Unterhaltung betheiligte, hätte man sagen sollen, der Greis habe sein ganzes Leben dem Studium der schönen Wissenschaften und der Volkswirthschaftslehre gewidmet. Es wäre überflüssig der Wissenschaften zu erwähnen, da deren Studium seine glänzende und besondere Lebensaufgabe war. Sprach er aber mit unserem Landsmanne Jedidja Cleishbosham, so hätte man schwören sollen, er sei der Zeitgenosse von Claverhouse und von Burley, der Verfolger und der Verfolgten gewesen; und er habe genau die Flintenschüsse gezählt, welche die Dragoner auf die fliehenden Verbündeten abfeuerten. Wir entdeckten zuletzt, daß kein Roman von nur einiger Bedeutung seiner Aufmerksamkeit entgangen, und daß die Leidenschaft des berühmten Gelehrten für diese Art Lectüre ebenso lebhaft war, wie bei einer jungen achtzehnjährigen Putzmacherin."

Watt behielt seine Geisteskräfte ungeschwächt bis an sein Lebensende. In seinen siebziger Jahren glaubte er einmal eine Abnahme derselben zu bemerken. Getreu seinem Wahlspruche, der auf seinem Siegel durch ein Auge mit der Umschrift „Observare" dargestellt wurde, beschloß er gleich, sich durch einen Versuch von dem Grund oder Ungrund seiner Vermuthung zu überzeugen. Er ging zu dem Ende daran das Angelsächsische zu erlernen. Die Leichtigkeit, mit welcher ihm dies gelang, gab ihm die volle Ueberzeugung seiner noch unverminderten Geisteskraft. Im Jahre 1784 war Watt Mitglied der Königl. Gesellschaft in Edinburg, und ein Jahr später Mitglied der Königl. Gesellschaft in London geworden. Die Pariser Akademie der Wissenschaften erwies Watt (1814) die größte Ehre, welche sie verleihen kann: sie ernannte ihn zu einem ihrer acht auswärtigen Mitglieder.

Geliebt von den Seinen, geehrt von seinen Mitbürgern, verlebte Watt in ruhiger Heiterkeit die letzten Jahre seines Lebens. Im Sommer 1819

deuteten manche Anzeichen darauf hin, daß sein Ende heran nahte. Watt selbst täuschte sich nicht darüber. Mit Milde tröstete er seine trauernde Familie, und dankte innigst seinem Schöpfer, daß er ihn befähigt habe, seinem Vaterlande so große Dienste zu leisten. Am 25. August 1819 entschlief der edle Greis. In der Pfarrkirche von Heathfield erhielt er seine Ruhestätte. Auf seinem Grabe und in einem der Säle der Universität in Glasgow ließ ihm die kindliche Liebe und Dankbarkeit seines Sohnes Statuen errichten. Seine schottischen Landsleute ehrten Watt, indem sie auf granitnem Sockel eine große broncene Bildsäule von ihm auf einem der öffentlichen Plätze Glasgow's aufstellten.

Das englische Volk, welches den Erfindungen jenes schöpferischen Geistes einen so wesentlichen Theil seiner heutigen materiellen Wohlfahrt verdankt, wollte mit einem Beweise seines Dankes und seiner Anerkennung nicht zurückbleiben. In einer von den bedeutendsten Männern Londons gebildeten Versammlung wurde der Beschluß gefaßt, Watt ein seiner und des Landes würdiges Denkmal in der Westminster-Abtei, dem brittischen Pantheon, zu errichten. Hier, in dieser Ruhmeshalle Großbritanniens, steht heute inmitten der Denkmale berühmter Gelehrten, Staatsmänner und Helden die marmorne Statue des großen Ingenieurs. Dieselbe ist eine der besten Arbeiten Chantrey's; mit großer Treue giebt sie die ruhigen, edlen Züge Watt's wieder. Auf dem Sockel ist folgende, von Lord Brougham verfaßte Inschrift eingegraben:

„Nicht um einen Namen zu verewigen, der dauern wird, so lange die Künste des Friedens blühen werden, sondern um zu zeigen, daß die Menschen diejenigen zu ehren gelernt haben, welche ihres Dankes am würdigsten sind, haben der König, die Minister, viele Edle und andere Bürger des Königreiches dieses Denkmal errichtet für James Watt, welcher, indem er seine frühzeitig an wissenschaftlichen Untersuchungen geübte Geisteskraft zur Vervollkommnung der Dampfmaschine anwandte, die Hülfsquellen seines Landes und die Kraft des Menschen vermehrte, und sich auf einen erhabenen Platz unter den berühmtesten Gelehrten und den wahren Wohlthätern der Menschheit emporschwang. Geboren zu Greenock 1736, gestorben zu Heathfield in Staffordshire 1819."

Bei allen Maschinen, welche von Watt selbst gebaut wurden, besaß der Dampf eine Spannung von höchstens $1^1/_4$ Atmosphären, und entwich, nachdem er im Cylinder gewirkt hatte, in den Condensator. Diese beiden Eigenthümlichkeiten der Watt'schen Maschine rühren ganz und gar von dem Umstande her, daß ihr Erfinder dieselbe aus der atmosphärischen Maschine heraus entwickelte. Bei dieser war es zur Wirksammachung des Luftdruckes unumgänglich nöthig, auf der einen Seite des Kolbens eine geringere Spannung, als die der Atmosphäre, zu erzeugen: man that dies bekanntlich durch Condensirung von Wasserdampf. Als Watt nun den Luftdruck durch Dampfdruck ersetzte, wandte er den letzteren fast ganz von derselben Größe an, die jener besitzt; er wurde durch jenen gleichsam darauf hingeleitet. Eine unmittelbare Folge davon war, daß Watt auch die Condensation des gebrauchten Dampfes beibehalten mußte.

Maschine ohne Condensation.

So große Vorzüge die Watt'sche Maschine auch vor allen ihren Vorgängern hat, so macht doch eben der Umstand, daß bei ihr der Dampf verdichtet werden muß, ihre Anwendung in manchen Fällen schwierig und unvortheilhaft, und in einzelnen sogar unmöglich. Denn einmal sind zur Condensation eine Menge von Theilen erforderlich: der Condensator selbst, die

Luftpumpe und die Kaltwasserpumpe. Durch diese werden aber sowohl die Herstellungskosten der Maschine, wie der Raum, dessen dieselbe bedarf, bedeutend vermehrt. Und dann ist man manchmal nicht im Stande, an dem Orte, an welchem die Maschine aufgestellt werden soll, die zur Condensation erforderliche Menge kalten Wassers zu beschaffen. Die beiden erst genannten Uebelstände sind selten von Belang, wenn es sich um eine größere Maschine handelt, welche eine ganze Fabrik treiben soll; sie wurden daher auch anfänglich, wo man die Dampfmaschine fast nur zu diesem Zwecke gebrauchte, weniger gefühlt. Als aber die Anwendung der Dampfkraft immer allgemeiner wurde, und auch kleinere Werkstätten sie zu benutzen wünschten, da wurde das Verlangen nach einer Maschine rege, welche dieselben Vortheile gewähre, wie die Watt'sche, aber einfacher und billiger sei, als diese.

Um die Dampfmaschine zu vereinfachen, war es vor Allem erforderlich, die Verdichtung des Dampfes unnöthig zu machen. Dies läßt sich aber nur dadurch erreichen, daß man sich entschließt, Dampf von beträchtlich höherer Spannung, als die der Atmosphäre, anzuwenden. Denn wenn man den gebrauchten Dampf statt in den Condensator, in die freie Luft strömen läßt, so herrscht in dem Cylinderraume vor dem Kolben fortwährend mindestens die Spannung der Atmosphäre. Besäße nun der treibende Dampf hinter dem Kolben keine höhere Spannung als die der äußeren Luft, so wäre eine Bewegung des Kolbens gar nicht möglich, da diese nur durch einen Unterschied der Drucke auf die beiden Kolbenflächen hervorgerufen werden kann. Benutzt man dagegen Dampf von 2 Atmosphären Spannung, und läßt den gebrauchten in die Luft entweichen, so wird der auf Bewegung des Kolbens wirkende Druck eben so groß sein, als wenn der treibende Dampf eine Spannung von $1^1/_{10}$ Atmosphären hat, während im Condensator eine solche von $^1/_{10}$ Atmosphäre herrscht. Ob in beiden Fällen der Dampf gleich vortheilhaft wirkt, ist eine Frage, auf die wir später noch etwas näher eingehen werden.

Mit Rücksicht darauf, ob der gebrauchte Dampf verdichtet wird oder nicht, theilt man alle Dampfmaschinen in zwei Hauptgruppen, in Dampfmaschinen mit, und in solche ohne Condensation. Diese Eintheilung ist eine wesentliche und sichere, was beides weit weniger der Fall ist mit einer anderen, bei welcher die Größe der Spannung des Dampfes als Eintheilungsgrund benutzt wird. In Bezug auf diese werden Niederdruck-, Mitteldruck- und Hochdruck-Dampfmaschinen unterschieden. Zu den ersteren rechnet man diejenigen Maschinen, bei welchen der wirkende Dampf eine Spannung bis zu etwa $1^1/_2$ Atmosphären besitzt. Liegt die Dampfspannung zwischen dieser Größe und 3 Atmosphären, so wird die Maschine als Mitteldruck-Maschine betrachtet, und endlich als Hochdruck-Maschine, wenn sie mit Dampf von 3 und mehr Atmosphären arbeitet. Niederdruck-Maschinen sind immer mit einem Condensator versehen; bei den beiden anderen Arten ist derselbe nicht durchaus erforderlich, indessen kann er auch bei ihnen angewandt werden, was in manchen Fällen auch wirklich geschieht.

Da die Maschinen ohne Verdichtung durch den Wegfall aller zur Condensation erforderlichen Theile um so Vieles einfacher sind, als die atmosphärische und die Watt'sche Maschine, so könnte es — wie schon an einer früheren Stelle bemerkt wurde — auf den ersten Blick befremden, daß jene nicht vor diesen erfunden worden und in Gebrauch gekommen sind. Es könnte dies um so mehr auffallen, da sich bereits Savery bei seiner Ma-

schine hochgespannter Dämpfe bediente. Eine Erklärung läßt diese Erscheinung auch nicht zu, und kann man nur, wie es bereits oben geschah, darauf hinweisen, daß sich fast bei jeder Erfindung Aehnliches wiederholt. Freilich war der Umweg ein ziemlich beträchtlicher, auf dem man endlich zur einfachsten und natürlichsten Benutzung der Spannung des Dampfes als bewegende Kraft gelangte.

Als der Erste, der um das Jahr 1725 eine klare und deutliche Idee einer Maschine gegeben hat, welche als Hochdruck-Dampfmaschine zu betrachten ist, muß der deutsche Mechaniker Leupold genannt werden. In seinem großen Werke „Theatrum machinarum“ giebt er von der von ihm ersonnenen Maschine folgende Beschreibung. In jedem von zwei nebeneinander stehenden, unten geschlossenen und oben offenen Cylindern kann sich ein dampfdichtschließender Kolben auf und nieder bewegen. Die beiden Kolbenstangen sind mit den einen Enden zweier Balanciers verbunden, an deren anderen Enden die Kolbenstangen der in Bewegung zu setzenden Pumpen angehängt sind. Aus einem Kessel, in welchem hochgespannte Dämpfe erzeugt werden, können diese abwechselnd unter die Kolben der beiden Cylinder geleitet werden. Hat der Dampf einen Kolben bis an das obere Cylinderende getrieben, so wird ihm durch Drehung eines Hahnes ein Ausweg in die Luft verschafft. Der Dampf strömt rasch aus dem Cylinder aus und beide Kolbenflächen erfahren nun den Druck der äußeren Luft, in Folge dessen der Kolben durch sein eigenes Gewicht niedersinkt. Ist er unten angekommen, so kann ein neues Spiel beginnen. Wie man sieht, bildet jeder Cylinder eine einfach wirkende Maschine; um aber dennoch eine stetige Wirkung zu erhalten, schlug der Erfinder die Anwendung zweier abwechselnd thätigen Cylinder vor. Leupold.

Bis zu einer Ausführung seiner Maschine ist Leupold nicht gekommen, obgleich er von der Möglichkeit einer solchen scheint überzeugt gewesen zu sein. So sagt er an einer Stelle seines Werkes von seiner Feuermaschine: „Alles kann so angeordnet werden, daß die Hähne sich von selbst öffnen und schließen, was ich jedoch, eben so wie die Mittel, das Wasser im Kessel zu erneuern, auf der Zeichnung ganz weggelassen habe, da es sich hier nur um eine Skizze handelt, und jenes noch ein genaueres Studium und Versuche erfordert. Ich habe mir vorgenommen, später einen Versuch im Großen zu machen, um zu erfahren, ob man auf diese Weise und mit Vortheil eine Sägemühle in einem Walde errichten könne, wo es genug Holz und Wasser giebt. Aber da mir Zeit und Gelegenheit fehlen, sowohl um auf der Stelle diese Maschine auszuführen, als auch um andere kostspielige Experimente und Untersuchungen anzustellen, so gebe ich mich der Hoffnung hin, daß vielleicht der eine oder andere Liebhaber die Gelegenheit ergreifen wird, die ich ihm darbiete, um über diesen Gegenstand einige Versuche zu machen.“ In Deutschland war aber damals das industrielle Leben noch zu sehr in seiner Kindheit, als daß man hier eine Verfolgung und Nutzbarmachung der Leupoldschen Vorschläge hätte erwarten können.

In England war zu jener Zeit die Newcomen'sche Maschine eben in Gebrauch gekommen, und da man mit deren Leistungen vorläufig zufrieden war, so blieb auch hier die Idee unseres Landsmannes fast ganz unbeachtet. Watt kannte dieselbe zwar und behielt sich gleich in seinem ersten Patente (unter 4tens) das Recht vor, bei seinen Maschinen hochgespannte Dämpfe benutzen zu dürfen, und dieselben, wenn sie im Cylinder gewirkt hätten, in die Luft entweichen zu lassen. Er hat von diesem Rechte aber niemals Ge-

brauch gemacht, und so lange Watt die Fabrik in Soho leitete, ist in den dortigen Werkstätten keine Hochdruckmaschine gebaut worden.

Olivier Evans.

Eine wirkliche und ausgedehnte Benutzung in der Industrie sollte der Hochdruckdampf zuerst in einem Lande finden, welches sich bis dahin noch gar nicht bei der Vervollkommnung der Anwendung des Dampfes betheiligt hatte: in Nordamerika. Das größte Verdienst hierbei erwarb sich Olivier Evans. Dieser war im Jahre 1755 geboren, und arbeitete als einfacher Stellmacher in Philadelphia, als er (1772) durch die Beschreibung eines seiner Brüder von einem in Amerika beliebten Knabenspiele darauf aufmerksam gemacht wurde, daß eingeschlossener Dampf eine bedeutende Spannkraft erlangen kann. Diese Mittheilung wurde für Evans der erste Anstoß zu sehr erfolgreichen Arbeiten. Er besaß ein sehr bedeutendes Talent für praktische Mechanik, und hatte, wie es bei Leuten dieser Art fast immer der Fall ist, schon öfter über die Entdeckung einer neuen Triebkraft nachgedacht. In dem Wasserdampfe glaubte er das Gesuchte gefunden zu haben, und da sein Interesse einmal auf diesen gerichtet war, so blieb ihm auch nicht lange verborgen, in welcher Weise man in England bereits den Dampf zum Betriebe einer Kraftmaschine benutzte. Aus einigen Beschreibungen lernte er die Einrichtung und das Wesen der atmosphärischen und der Watt'schen Maschine kennen. Da aber Evans wahrscheinlich die geschichtliche Entwickelung der Dampfmaschine nicht deutlich übersah, so mußte es ihm offenbar sehr auffallen, den Dampf, wie es bei jenen Maschinen geschieht, mehr mittelbar als direkt benutzt zu sehen. Er ließ es sich nun eifrigst angelegen sein, eine möglichst einfache Anwendung des Dampfes zu verwirklichen, und eine Maschine ohne Condensation, eine Hochdruckmaschine, zu construiren. Seine betreffenden Versuche gelangen vollständig, und benutzte er bei seiner Maschine Dampf von einer Spannung bis zu 10 Atmosphären. In Folge dieser Arbeiten wandte Evans sich ganz dem Maschinenfache zu, in welchem er auch noch auf anderen Gebieten Bedeutendes leisten sollte. So brachte er namentlich an den in seinem Vaterlande sehr unvollkommenen Getreidemühlen so wesentliche Aenderungen und Verbesserungen an, daß dieselben von da ab allgemein als Muster galten, und unter dem Namen amerikanische Mühlen auch in anderen Ländern Eingang fanden. Die von ihm gebauten Mühlen wurden meist von Dampfmaschinen nach seiner Construktion getrieben. Ein Lieblingsgedanke von Evans war die Benutzung seiner Dampfmaschine zum Fortbewegen eines Wagens. Nach vielen Versuchen, welche sein ganzes Vermögen aufgezehrt hatten, gelang es ihm auch gegen Ende des Jahres 1800 einen Wagen herzustellen, der sich, durch Dampfkraft getrieben, in den Straßen von Philadelphia bewegte. Aber trotz aller Mühe konnte er Niemanden finden, der ihm die nöthigen Geldmittel zur Ausbeutung seiner Erfindung geben wollte, und so sah er sich nach zwanzigjährigem Verfolgen seines Planes zuletzt genöthigt, demselben zu entsagen. Er beschäftigte sich von nun ab fast ausschließlich mit der Erbauung von Hochdruckmaschinen, zu deren Anfertigung er bedeutende Werkstätten in Philadelphia und später auch in Pittsburg anlegte. Die letzteren wurden am 11. März 1819 durch eine Feuersbrunst zerstört. Auf Evans wirkte dieses Unglück so vernichtend ein, daß er es nur vier Tage überlebte. Durch die zahlreichen von ihm ausgeführten Hochdruckmaschinen hat er denselben in Amerika allgemein Bahn gebrochen. Und auch in England fingen, sobald mit dem Jahre 1800 das Watt'sche Patent abgelaufen war, einzelne Ingenieure an,

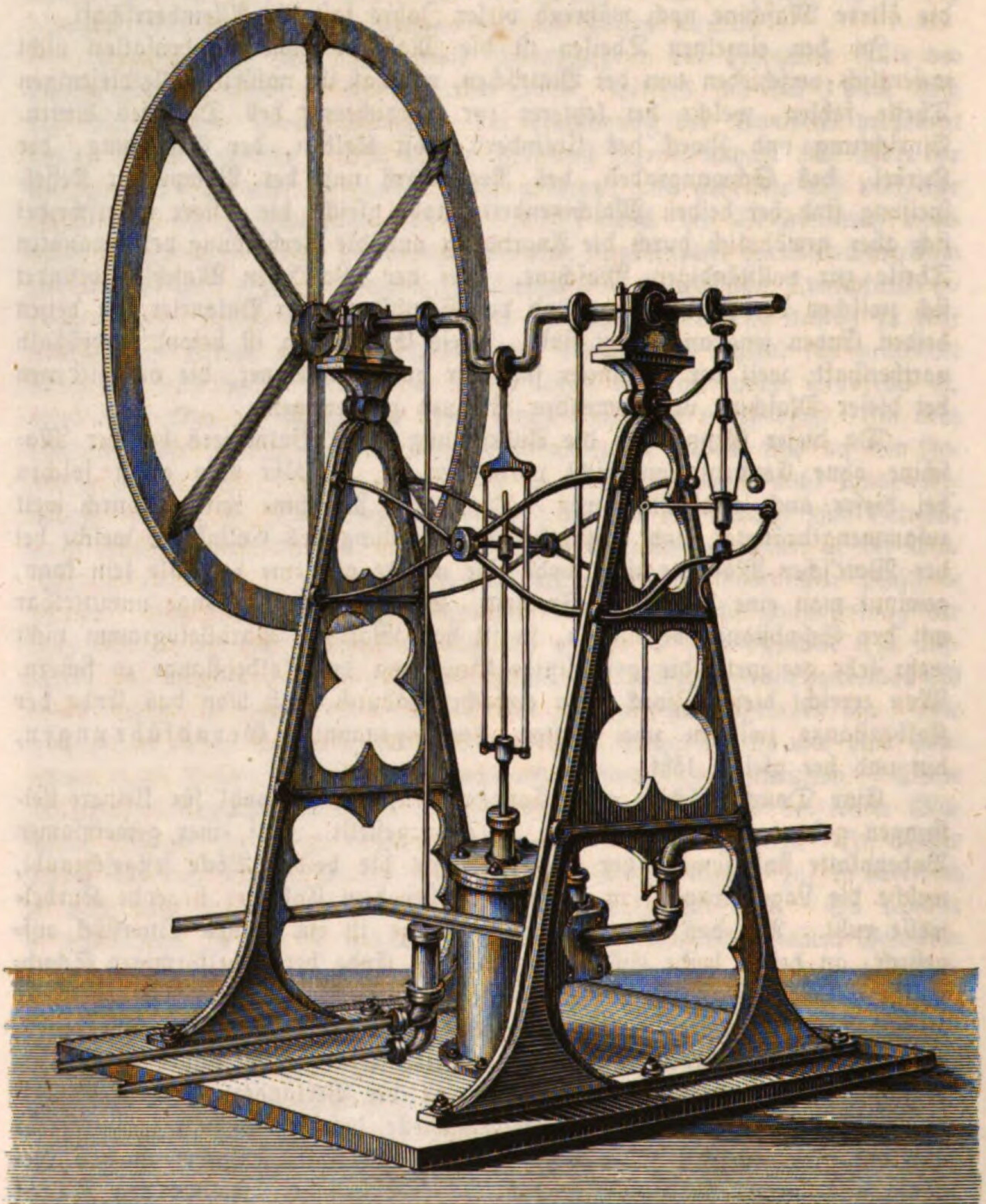
Maschinen ohne Condensation zu bauen; doch behauptete in diesem Lande die ältere Maschine noch während vieler Jahre fast die Alleinherrschaft.

In den einzelnen Theilen ist die Maschine ohne Condensation nicht wesentlich verschieden von der Watt'schen, nur daß ihr natürlich alle diejenigen Theile fehlen, welche bei letzterer zur Verdichtung des Dampfes dienen. Einrichtung und Zweck des Cylinders nebst Kolben, der Steuerung, der Kurbel, des Schwungrades, des Regulators und der Pumpe zur Kesselspeisung sind bei beiden Maschinenarten nahe gleich; die erstere unterscheidet sich aber gewöhnlich durch die Anordnung und die Verbindung der genannten Theile zur vollständigen Maschine. Bei der Watt'schen Maschine befindet sich zwischen der Kolbenstange und der Schubstange der Balancier, an dessen beiden Enden jene angehängt sind. Diese Einrichtung ist besonders deshalb vortheilhaft, weil der Balancier sich sehr gut dazu eignet, die verschiedenen bei dieser Maschine vorkommenden Pumpen zu bewegen.

Da dieser Grund für die Anbringung eines Balanciers bei der Maschine ohne Condensation nicht vorhanden ist, so läßt man einen solchen bei dieser auch gewöhnlich weg. Die ganze Maschine wird dadurch weit zusammengedrängter, und hinsichtlich der Stellung des Cylinders, welche bei der Watt'schen Maschine nicht wohl eine andere als eine vertikale sein kann, gewinnt man eine bedeutende Freiheit. Wird die Kolbenstange unmittelbar mit der Schubstange verbunden, so ist das Watt'sche Parallelogramm nicht mehr sehr geeignet, die geradlinige Bewegung der Kolbenstange zu sichern. Man erreicht diesen Zweck dann einfacher dadurch, daß man das Ende der Kolbenstange zwischen zwei Leisten, den sogenannten Geradführungen, hin und her gleiten läßt.

Eine Dampfmaschine ohne Condensation, wie sie wohl für kleinere Leistungen gebaut wird, ist in Fig. 207 dargestellt. Auf einer gemeinsamen Bodenplatte sind sowohl der Cylinder, wie die beiden Böcke festgeschraubt, welche die Lager tragen, in denen die über dem Cylinder liegende Kurbelwelle ruht. Auf das Ende der Kolbenstange ist ein kleines Querstück aufgesteckt, an dessen beide Endzapfen das eine Ende der gabelförmigen Schubstange anfaßt. Das obere Ende derselben umfaßt eine in der Kurbelwelle angebrachte sogenannte Verkröpfung, welche bei der vorliegenden Anordnung an die Stelle der eigentlichen Kurbel tritt. Die gerade Richtung der Kolbenstange wird dadurch gesichert, daß eine die Verlängerung derselben bildende Stange durch ein am Maschinengestelle befestigtes Auge hindurchgeht und auf diese Weise geführt wird. Rechts am Dampfcylinder ist das Gehäuse angebracht, in dem sich der Schieber befindet, welcher den Dampf abwechselnd über und unter den Kolben leitet. Die Bewegung dieses Schiebers wird durch ein auf der Kurbelwelle sitzendes Excentric bewirkt. Der frische vom Kessel kommende Dampf tritt durch ein in der Figur rechts befindliches Rohr in das Schiebergehäuse hinein, und durch ein zweites, nach links geführtes Rohr entweicht der gebrauchte Dampf in die freie Luft. In dem Dampf-Zuleitungsrohr befindet sich die Drosselklappe, deren Stellung von einem Watt'schen Schwungkugel-Regulator regulirt wird. Ein zweites auf der Kurbelwelle befindliches Excentric setzt die links vom Cylinder angebrachte Speisepumpe in Bewegung, durch welche das im Kessel verdampfte Wasser wieder ersetzt wird. Das die Bewegung der Maschine gleichförmig machende Schwungrad ist auf der Kurbelwelle, dicht neben dem einen Lager, befestigt. Eine Vergleichung der eben beschriebenen Maschine mit der früher

(Fig. 207.)



besprochenen doppelt wirkenden Watt'schen läßt am besten erkennen, um wie Vieles jene in ihrer Einrichtung einfacher ist als diese.

Expansions-Maschine. Bei den beiden Arten der Dampfmaschine, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, sowohl bei der Maschine mit, wie bei der ohne Condensation, wird die Wirkung des Dampfes nicht vollständig ausgenutzt. Denn der gebrauchte Dampf besitzt, wenn er aus dem Cylinder austritt, eine höhere Spannung, als wie in dem Raume herrscht, nach welchem er entweicht. So hat z. B. bei der Watt'schen Maschine der den Cylinder verlassende Dampf eine Spannung von etwa einer Atmosphäre, während die Spannung im Condensator nur $^1/_{10}$ Atmosphäre beträgt. Bei der Maschine ohne Condensation besitzt der entweichende Dampf meist eine Spannung, welche um

mehrere Atmosphären größer ist, als der gewöhnliche Luftdruck. Nun ist aber klar, daß aus diesem Spannungsunterschied ein Verlust an der möglichen Leistung des Dampfes entsteht. Denn so lange der Dampf hinter dem Kolben noch eine größere Spannung besitzt, als in dem Cylinderraume vor dem Kolben herrscht, vermag der Dampf auch noch eine gewisse Leistung zu entwickeln. Es giebt nun ein einfaches Mittel, um zu bewirken, daß am Ende des Schubes die Spannungen zu beiden Seiten des Kolbens nur wenig von einander verschieden sind. Und zwar besteht dieses Mittel darin, daß man nicht, wie es bisher immer angenommen wurde, bis zum Ende des Kolbenschubes fortwährend Dampf in den Cylinder treten läßt, sondern daß man den Dampfzufluß absperrt, nachdem der Kolben einen gewissen Theil seines Schubes durchlaufen hat. Befindet sich auf diese Weise ein Theil, z. B. die Hälfte oder ein Drittel des Cylinders mit Dampf gefüllt, dessen Menge nicht weiter durch Zufluß aus dem Kessel vermehrt wird, und besitzt dieser abgesperrte Dampf eine höhere Spannung, als vor dem Kolben herrscht, so wird er sich in Folge seiner Spannkraft ausdehnen, und zwar in ähnlicher Weise, wie comprimirte Luft es thun würde. Bei dieser Ausdehnung treibt er den Kolben noch fortwährend vorwärts, aber freilich mit stets kleiner werdender Kraft. Denn der Druck auf den Kolben nimmt im umgekehrten Verhältniß ab, in welchem das Volumen des abgesperrten Dampfes zunimmt. Es ist nun leicht einzusehen, daß man den Dampfzufluß gerade bei einer solchen Stelle des Kolbenschubes unterbrechen kann, daß der Dampf am Ende des Schubes mit einer Spannung aus dem Cylinder entweicht, welche nur wenig größer zu sein braucht, als die der freien Luft, oder die im Condensator stattfindende. Besitzt z. B. bei einer Maschine ohne Condensation der anfänglich in den Cylinder einströmende Dampf eine Spannung von $3^1/_2$ Atmosphären, und läßt man den Dampfzufluß nach $^1/_3$ des Kolbenschubes aufhören, so entweicht der Dampf am Ende des Schubes mit einer Spannung von nur $1^1/_6$ Atmosphären. Denn da der abgesperrte Dampf sich auf das Dreifache seines anfänglichen Volumens ausgedehnt hat, so ist seine Spannung hierbei auf $^1/_3$ seiner ursprünglichen herabgesunken.

Maschinen, bei denen nur während eines gewissen Theiles des Kolbenschubes Dampf aus dem Kessel in den Cylinder strömt, welcher dann während des übrigen Theiles des Kolbenlaufes durch Ausdehnung — Expansion — wirkt, werden gewöhnlich Expansions-Maschinen genannt. Der Gedanke, den Dampf auch durch Expansion wirken zu lassen, scheint Watt anzugehören, doch hat er von diesem Principe bei den von ihm erbauten Maschinen nur eine sehr beschränkte Anwendung gemacht. Erst Olivier Evans machte sich alle Vortheile zu Nutze, welche die Expansion des Dampfes zu gewähren vermag, und brachte es durch dieses Mittel dahin, daß seine Hochdruckmaschinen ohne Condensation selbst den Watt'schen Maschinen hinsichtlich des Brennstoffverbrauches überlegen waren. Der Mittel, die Absperrung des Dampfes zu bewirken, giebt es sehr verschiedene. Gewöhnlich bringt man zu diesem Behufe ein Ventil oder einen zweiten Schieber an, deren rechtzeitige Bewegung von der Kurbelwelle aus geschieht.

Um von den Vortheilen, welche die Expansion des Dampfes gewährt, eine klare Vorstellung zu bekommen, bedenke man Folgendes. Läßt man Dampf von z. B. $2^1/_2$ Atmosphären während des ganzen Kolbenlaufes in den Cylinder einströmen, so wird derselbe eine gewisse Wirkung erzeugen. Sperrt man aber den Zufluß dieses Dampfes bei der Hälfte des Kolben-

schubes ab, so wird man bis zu diesem Augenblicke halb soviel Dampf verbraucht und halb soviel Wirkung erhalten haben, als bei jener ganzen Cylinderfüllung. Während der zweiten Hälfte des Schubes wird nun gar kein neuer Dampf mehr gebraucht, wohl aber durch die Ausdehnung des abgesperrten noch eine gewisse Wirkung gewonnen. Die frühere Absperrung des Dampfes hat also die Wirkung desselben in geringerem Grade als den Verbrauch verkleinert, und es findet dies bei jeder Benutzung der Expansion statt. Das eben Bemerkte läßt sich auch in der Weise ausdrücken, daß man sagt, eine und dieselbe Dampfmenge könne eine um so größere Leistung erzeugen, jemehr man den Dampf durch Expansion wirken lasse. So erzeugt z. B. irgend welche Dampfmenge, wenn man den Zufluß des Dampfes absperrt, nachdem der Kolben 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 seines Schubes zurückgelegt hat, 1,223-, 1,509-, 1,916-, 2,609 mal soviel Wirkung, als wenn man den Dampf während des ganzen Schubes in den Cylinder einströmen läßt. An welcher Stelle des Schubes man in jedem einzelnen Falle die Expansion am besten beginnen läßt, hängt, außer von verschiedenen praktischen Rücksichten, hauptsächlich davon ab, wieviel Mal die Spannung des Dampfes vor der Absperrung größer ist, als die Spannung in dem Cylinderraume vor dem Kolben. Je mehrere Male die letztere Spannung kleiner ist als jene, je früher kann man das Zuströmen des Dampfes unterbrechen.

Da der Kolben am Ende eines jeden Schubes zur Ruhe kommen, und eine Bewegung in gerade entgegengesetzter Richtung beginnen muß, so ist es auch mit Rücksicht auf die Sanftheit dieses Bewegungswechsels sehr vortheilhaft, nicht bis zum letzten Augenblicke eines Schubes frischen Dampf in den Cylinder treten zu lassen. Denn der Wechsel in der Bewegung des Kolbens wird natürlich um so leichter vor sich gehen, je weniger am Ende des Schubes die Pressungen auf die beiden Kolbenflächen von einander verschieden sind. — Endlich gewährt eine Expansions-Maschine auch noch den Vortheil, daß man sie sehr leicht zu verschieden großen Leistungen benutzen kann. Um die Leistung einer solchen Maschine zu vergrößern, ist es nämlich nur nöthig, die Absperrung des Dampfes später beginnen zu lassen. Maschinen, welche eine solche Einrichtung haben, daß die Größe oder der Grad der Expansion verändert werden kann, heißen **Maschinen mit veränderlicher Expansion**. Häufig ist die Anordnung so getroffen, daß der Expansionsgrad geändert werden kann, ohne daß deßhalb der Gang der Maschine unterbrochen zu werden braucht. Auch findet man zuweilen die Einrichtung, daß der Kugelregulator nicht, wie wir es bei der Watt'schen Maschine gesehen haben, auf die Drosselklappe, sondern auf das Absperrungsventil wirkt, und zwar so, daß er dieses früher schließt, und also die Expansion früher beginnen macht, wenn der Gang der Maschine ein schnellerer geworden ist, und umgekehrt.

Der großen Vortheilhaftigkeit, mit welcher bei der Expansionsmaschine der Dampf benutzt wird, stehen jedoch auch einige Nachtheile gegenüber. Zu diesen gehört namentlich der, daß eine Expansionsmaschine ein weit größeres Schwungrad bedarf, wie eine Maschine, welche bei gleicher Leistung ohne Expansion arbeitet; vorausgesetzt, daß bei beiden Maschinen der Gang denselben Grad der Gleichförmigkeit besitzen soll. Bei Besprechung der doppeltwirkenden Watt'schen Maschine ist weitläufiger dargelegt worden, warum zur Erzielung eines gleichförmigen Ganges die Anbringung eines Schwungrades erforderlich ist. Zu den bei jener Maschine erwähnten Gründen tritt nun bei der Expansionsmaschine noch der Umstand hinzu, daß bei ihr der Dampf-

druck auf den Kolben während eines größeren oder kleineren Theiles des Schubes ein fortwährend abnehmender ist. Die Folgen, welche diese Veränderlichkeit der treibenden Kraft für die Regelmäßigkeit des Ganges der Maschine hat, können aber nur dadurch aufgehoben werden, daß man dem Schwungrad ein größeres Gewicht oder größere Abmessungen giebt. — Ferner steht eine Maschine mit Expansion einer gleich starken ohne Expansion auch darin nach, daß sie für alle Theile größere Abmessungen erfordert, als letztere, wodurch denn weiter ein größerer Anschaffungspreis bedingt wird. Dieser sollte jedoch im Allgemeinen nie von der Benutzung der Expansionsmaschinen abhalten, da er schon binnen kurzer Zeit durch die Brennstoffersparniß, welche die Absperrung des Dampfes gewährt, reichlich aufgewogen wird.

Anstatt die Ausdehnung des Dampfes in demselben Cylinder geschehen zu lassen, in welchen der Dampf direct aus dem Kessel eintritt, kann man für die Expansion auch einen besonderen, zweiten Cylinder anbringen. Diesen Gedanken verwirklichte zuerst der Engländer Arthur Woolf (1804). Er stellte zwei Cylinder dicht neben einander, von denen der eine einen etwa vier Mal so großen Inhalt hat, als der andere. Der Dampf, der eine Spannung von zwei bis drei Atmosphären besitzt, tritt aus dem Kessel zunächst in den kleineren Cylinder, und zwar während des ganzen Kolbenschubes. Am Ende desselben entweicht der Dampf, aber nicht in die freie Luft oder in den Condensator, sondern zunächst in den größeren Cylinder, und erst wenn er in diesem durch Expansion gewirkt hat, wird er schließlich verdichtet. Die Woolf'sche Maschine hat gewöhnlich eine ähnliche Einrichtung, wie die Watt'sche. Wo bei dieser der Dampfcylinder steht, befindet sich bei jener der größere oder Expansionscylinder. Unmittelbar neben demselben, in der Richtung des Balanciers, steht der kleinere Cylinder, der gerade soviel kürzer ist als der größere, daß in beiden die Kolben immer gleichzeitig an dem oberen oder unteren Ende ihres resp. Schubes ankommen. Eine deutliche Vorstellung von der Wirkungsweise des Dampfes bei dieser Maschine wird der Leser durch die Beachtung des Folgenden gewinnen können. Durch die Dampfkolben wird jeder der beiden Cylinder in zwei von einander getrennte Räume getheilt. Der Kürze wegen mögen die Räume über und unter dem Kolben im kleineren Cylinder mit ü und u, und die entsprechenden Räume in größeren Cylinder mit Ü und U bezeichnet werden. Nehmen wir nun an, die beiden Kolben seien gerade am oberen Ende ihres Schubes angekommen; dann wird der Raum u mit dem Dampfkessel, der Raum Ü mit dem Condensator, und die Räume ü und U werden unter einander in Verbindung stehen. Sollen die Kolben jetzt niedergehen, so muß über den Kolben im kleinen Cylinder, also in den Raum ü, Dampf aus dem Kessel einströmen, nachdem vorher die Verbindung der Räume ü und U aufgehoben, und statt deren eine Verbindung zwischen den Räumen u und Ü hergestellt worden ist. Gleichzeitig muß dem Dampfe unter dem großen Kolben ein Weg nach dem Condensator geöffnet werden. Im ersten Augenblicke nach Herstellung dieser verschiedenen neuen Verbindungen erfahren die beiden Flächen des kleineren Kolbens fast ganz denselben Druck, während die untere Fläche des größeren Kolbens nur den geringen Druck erleidet, welcher der Spannung im Condensator entspricht. Dieser Druck, sowie der auf die obere Fläche des kleineren Kolbens bleiben während des ganzen Niederganges der Kolben constant. Anders ist es aber mit den Pressungen auf die untere Fläche des kleineren, und auf die obere Fläche des größeren Kolbens. Diese

beiden Pressungen sind pro Flächeneinheit fortwährend einander gleich, nehmen aber mit dem Niedergehen der Kolben stetig ab, da hierbei der Dampf aus dem unteren Raume des kleineren Cylinders in den mehrmals größeren Raum des anderen Cylinders übertritt. In Folge hiervon nimmt der Unterschied der Drucke auf die beiden Flächen des kleineren Kolbens fortwährend zu, jemehr derselbe niedergeht, während dieser Unterschied bei dem größeren Kolben gleichzeitig abnimmt. Bei dem Aufwärtsgehen der Kolben finden den eben erörterten ganz analoge Vorgänge statt.

Hinsichtlich des Brennstoffverbrauchs ist die Woolf'sche Maschine etwas weniger vortheilhaft, als die Expansionsmaschine mit Einem Cylinder, wenn man bei dieser den Dampf ebenfalls in einen Condensator entweichen läßt. Außerdem ist letztere Maschine, wegen ihrer größeren Einfachheit, billiger als jene. Die Vorzüge der zwei-cylindrigen Maschine bestehen darin, daß sie bei gleich ausgedehnter Benutzung der Expansion einen gleichförmigeren Gang hat, als eine ein-cylindrige Maschine, weßhalb sie auch eines weniger schweren Schwungrades bedarf, als diese. Ihres regelmäßigen Ganges wegen wird die Woolf'sche Maschine gewöhnlich zum Betriebe von Spinnereien und Webereien benutzt, für welchen Zweck gerade jene Eigenschaft besonders werthvoll ist. — In neuerer Zeit hat man zuweilen die Einrichtung getroffen, daß der Dampf schon in dem kleineren Cylinder anfängt, durch Expansion zu wirken, und diese dann in dem größeren Cylinder nur noch weiter getrieben wird.

Die gleichzeitige Anwendung der Expansion und Condensation ist die vortheilhafteste Weise, die Spannkraft des Wasserdampfes zu benutzen, welche man bis heute aufgefunden hat. Eine Expansionsmaschine, welche mit einem Condensator versehen ist, gebraucht zur Erzeugung der gleichen Leistung fast nur halb soviel Brennstoff, als eine doppelt wirkende Watt'sche Maschine. Aus diesem Grunde werden letztere Maschinen auch fast gar nicht mehr gebaut.

Hauptarten der Dampfmaschine. Wir haben nun sämmtliche Hauptarten, auf welche die Spannkraft des Dampfes als Triebkraft benutzt werden kann, kennen gelernt. Jeder derselben entspricht auch eine Hauptart der Dampfmaschine. Kurz zusammengestellt sind es die folgenden:

1) Maschinen ohne Condensation und ohne Expansion;
2) Maschinen ohne Condensation, aber mit Expansion;
3) Maschinen mit Condensation, aber ohne Expansion;
4) Maschinen mit Condensation und mit Expansion.

Nach jeder dieser vier Arten können, je nachdem es der Zweck erfordert, sowohl einfach- wie doppeltwirkende Maschinen gebaut werden.

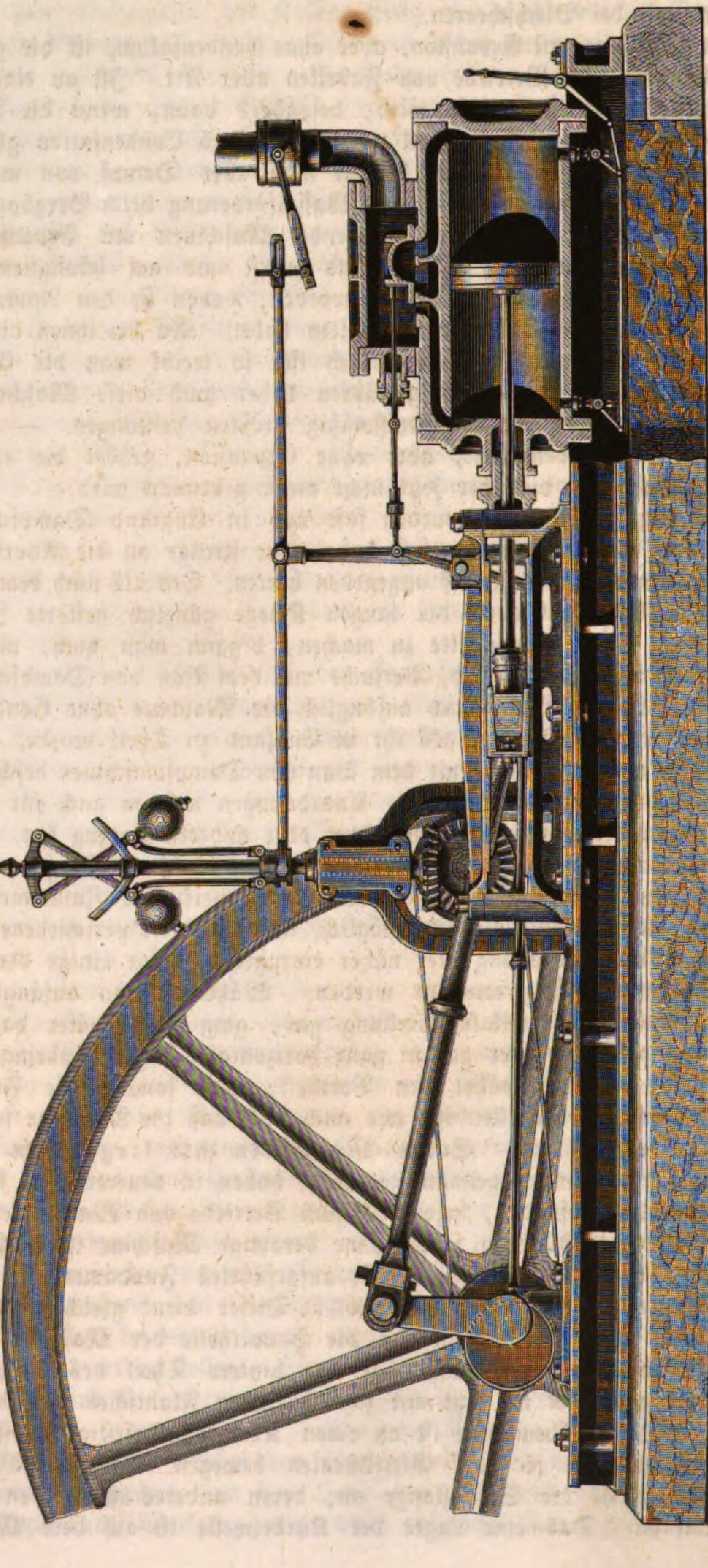
Die Maschine ohne Condensation und ohne Expansion, gewöhnlich die **einfache Hochdruckmaschine** genannt, wird da gebraucht, wo es weniger auf Brennstoffersparniß, als darauf ankommt, daß die Maschine möglichst einfach und raumersparend sei. Es wird bei ihr Dampf angewandt, dessen Spannung mindestens drei Atmosphären beträgt. Man benutzt die einfache Hochdruckmaschine besonders dann, wenn einzelne Arbeitmaschinen nur zeitweise betrieben werden sollen. Für diesen Zweck wird dieselbe auch häufig bloß einfach wirkend construirt. Sie besteht dann meist nur aus einem oben offnen Cylinder, in welchem ein Kolben vom Dampfe in die Höhe getrieben wird. Der Schieber, welcher den Ein- und Austritt des Dampfes bewirkt, wird gewöhnlich einfach von der Hand des Arbeiters bewegt. Das die Arbeit verrichtende Werkzeug wird dann möglichst direct mit der Kolben-

stange verbunden; dies ist z. B. der Fall bei Nietmaschinen, bei Lochmaschinen und bei Blechscheeren.

Die Maschine mit Expansion, aber ohne Condensation, ist die gebräuchlichste Maschine zum Betriebe von Fabriken aller Art. Ist an einem Orte der Brennstoff sehr theuer, so wird, besonders dann, wenn die Maschine eine größere Leistung erzeugen soll, Expansion und Condensation gleichzeitig angewandt. In beiden Fällen benutzt man aber Dampf von mindestens $2^1/_2$ Atmosphären Spannung. — Zur Wasserförderung beim Bergbau werden heutzutage fast nur noch einfach wirkende Maschinen mit Expansion und Condensation gebraucht. Dieselben sind zuerst und am häufigsten in der englischen Grafschaft Cornwall gebaut worden, wovon sie den Namen Cornwall'sche oder Cornische Maschinen erhalten haben. Da bei ihnen die Gleichförmigkeit der Bewegung nicht wesentlich ist, so treibt man die Expansion des Dampfes sehr weit. Es gewähren daher auch diese Maschinen von allen Dampfmaschinen die verhältnißmäßig größten Leistungen. — Zu den Maschinen mit Condensation, aber ohne Expansion, gehört die eigentliche Watt'sche Maschine, die aber jetzt nicht mehr gebraucht wird.

Bis zum Jahre 1815 wurden fast nur in England Dampfmaschinen gebaut, und zwar hielt man sich dabei sehr strenge an die Anordnungen, welche Watt, und später Woolf angegeben hatten. Erst als nach dem Frieden die auf dem Continent durch die langen Kriege gänzlich gestörte Industrie wieder anfing einige Fortschritte zu machen, begann man auch, namentlich in Frankreich und Deutschland, Versuche mit dem Bau von Dampfmaschinen zu machen. Hierbei fand gleich anfänglich die Maschine ohne Condensation eine größere Berücksichtigung, als ihr in England zu Theil wurde. Jemehr Fabriken sich aber allmählig mit dem Bau von Dampfmaschinen beschäftigten, desto zahlreichere und verschiedenere Anordnungen wurden auch für sie ausgesonnen, von denen fast jede den einen oder anderen Vorzug hat. Manche jener Anordnungen verdanken freilich ihr Entstehen nur dem Wunsche, Dampfmaschinen von neuer, von Anderen noch nicht versuchter Zusammenstellung zu bauen. Es ist natürlich nicht möglich, auf alle diese verschiedenen Modificationen in der Anordnung hier näher einzugehen. Nur einige der wesentlichsten mögen noch kurz erwähnt werden. Während man anfänglich dem Cylinder immer eine vertikale Stellung gab, ging man später dazu über, denselben in geneigter oder gar in ganz horizontaler Lage anzubringen. Besonders das letztere gewährt den Vortheil, daß sowohl die Fundirung einfach und solid herzustellen ist, wie auch den, daß die Maschine sehr leicht beaufsichtigt werden kann. Solche *Maschinen mit liegendem Cylinder*, wie sie gewöhnlich genannt werden, haben in neuerer Zeit sehr vielfache Anwendung gefunden, besonders zum Betriebe von Walzwerken, Hämmern, Mühlen, Gebläsen u. s. w. Eine derartige Maschine ist in Fig. 208 dargestellt. Auf ein solid aus Stein aufgeführtes Fundament ist ein starker gußeiserner Rahmen niedergeschraubt. Dieser dient gleichsam als Maschinengestell, und es sind an ihn die Haupttheile der Maschine befestigt. Der Dampfcylinder, der ebenso wie der hintere Theil des Rahmens im Durchschnitt gezeichnet ist, sitzt mit zwei seitlichen Flantschen auf dem Rahmen auf. Die Kolbenstange ist an einen Kreuzkopf befestigt, dessen beide Enden sich zwischen je zwei Gleitlinealen bewegen. In der Mitte des Kreuzkopfes greift die Schubstange an, deren anderes Ende den Kurbelzapfen umfaßt. Das eine Lager der Kurbelwelle ist auf dem Maschinen-

(Fig. 208.)



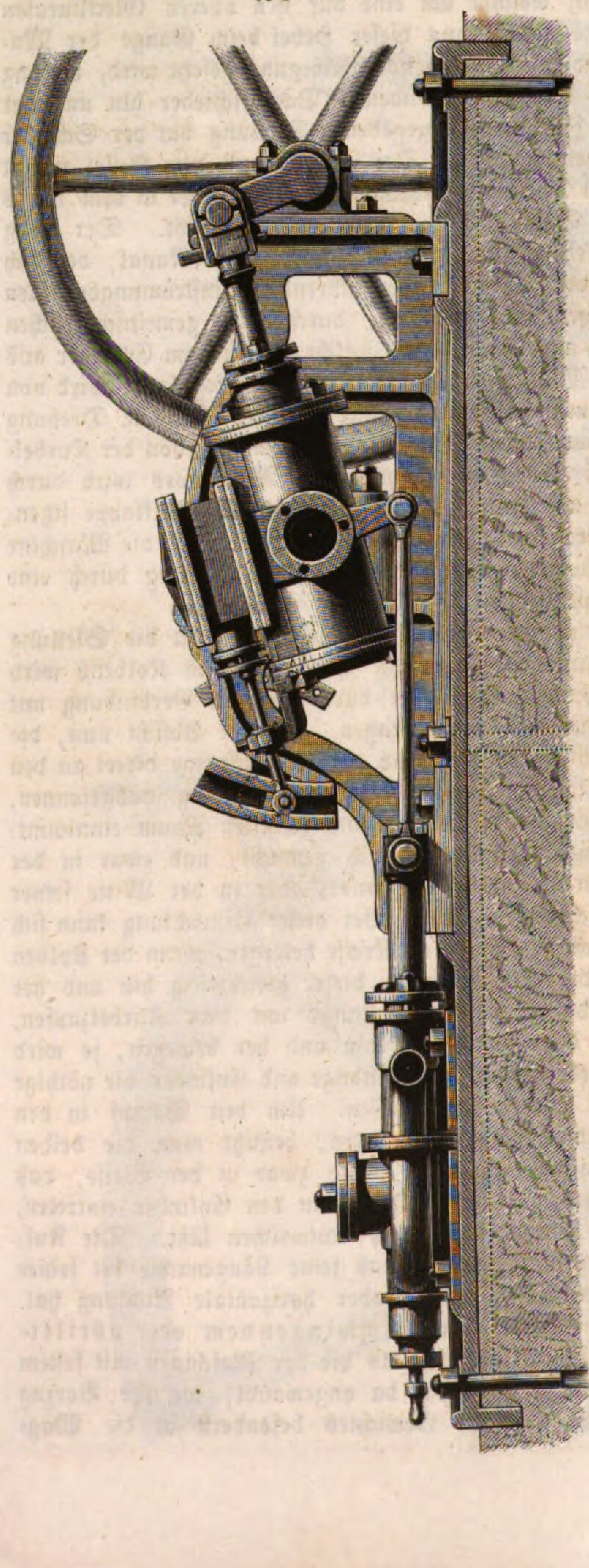
rahmen befestigt, während das andere, jenseits des Schwungrads liegende, besonders fundirt ist. Zwischen der Kurbel und dem vordern Lager sitzt auf der Schwungradwelle ein Excentric, dessen Stange an das eine Ende eines doppelarmigen Hebels greift, welcher um eine auf den oberen Gleitlinealen gelagerte Achse drehbar ist. Indem nun dieser Hebel beim Gange der Maschine durch das Excentric in eine schwingende Bewegung gesetzt wird, vermag er den mit ihm durch eine Stange verbundenen Dampfschieber hin und her zu ziehen. Bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung hat der Schieber seinen Weg nach rechts eben beendet. Der Dampf aus dem Kessel strömt dabei in den links gelegenen Theil des Cylinders, während der in dem rechts gelegenen Theil befindliche Dampf in die freie Luft entweicht. Der Weg dahin führt unter der Schieberhöhlung her und durch einen Kanal, der sich zwischen den, nach den beiden Cylinderenden führenden Einströmungscanälen befindet. Unten am Dampfcylinder sind zwei, durch einen gemeinschaftlichen Hebel zu öffnende Hähnchen angebracht, durch welche das sich im Cylinder aus dem Dampfe condensirende Wasser entfernt wird. Der Regulator wird von einem seitlich am Hauptrahmen befestigten Bocke gehalten. Seine Drehung wird durch zwei Kegelräder und durch ein Schnurscheibenpaar von der Kurbelwelle aus vermittelt. Das Heben und Senken des Regulators wird durch einen doppelarmigen Hebel auf einen auf der Achse der Drosselklappe sitzenden einarmigen Hebel übertragen. Mit einer Speisepumpe ist die Maschine nicht versehen, indem angenommen wird, daß die Kesselspeisung durch eine besondere kleine Dampfpumpe bewirkt werde.

Maschine mit schwingendem Cylinder.

Bei allen bis jetzt erwähnten Maschinenanordnungen ist die Stellung des Dampfcylinders eine ganz feste, und die Bewegung des Kolbens wird entweder bloß durch eine Schubstange, oder durch diese in Verbindung mit einem Balancier auf die Kurbelwelle übertragen. In der Absicht nun, die Schubstange ganz entbehrlich zu machen, und die Kolbenstange direct an den Kurbelzapfen angreifen zu lassen, hat man eine Anordnung ausgesonnen, bei welcher die Dampfmaschine wohl den möglich kleinsten Raum einnimmt. Man hat nämlich den Cylinder selbst beweglich gemacht, und zwar in der Weise, daß er um zwei an seinem oberen Ende, oder in der Mitte seiner Länge angebrachte Zapfen schwingen kann. Bei dieser Einrichtung kann sich das äußere Ende der Kolbenstange in einem Kreise bewegen, wenn der Kolben im Cylinder auf- und niedergeht, während dieser gleichzeitig hin und her schwingt. Verbindet man daher die Kolbenstange mit dem Kurbelzapfen, und läßt den Kolben durch den Dampfdruck hin und her bewegen, so wird die Verbindung zwischen Kurbelzapfen, Kolbenstange und Cylinder die nöthige schwingende Bewegung des letzteren veranlassen. Um den Dampf in den Cylinder ein, und aus demselben herauszuleiten, benutzt man die beiden Zapfen, um welche der Cylinder schwingt, und zwar in der Weise, daß man durch den einen derselben frischen Dampf in den Cylinder eintreten, und durch den anderen den gebrauchten Dampf entweichen läßt. Die Aufhängung des Cylinders kann so geschehen, daß seine Längenachse bei seiner mittleren Stellung eine verticale, geneigte oder horizontale Richtung hat. Da die Instandhaltung der Maschinen mit schwingendem oder oscillirendem Cylinder etwas schwieriger ist, als die der Maschinen mit festem Cylinder, so werden jene meist auch nur da angewandt, wo ihr Vorzug der Raumersparniß und eines geringen Gewichtes besonders in die Wagschale fällt.

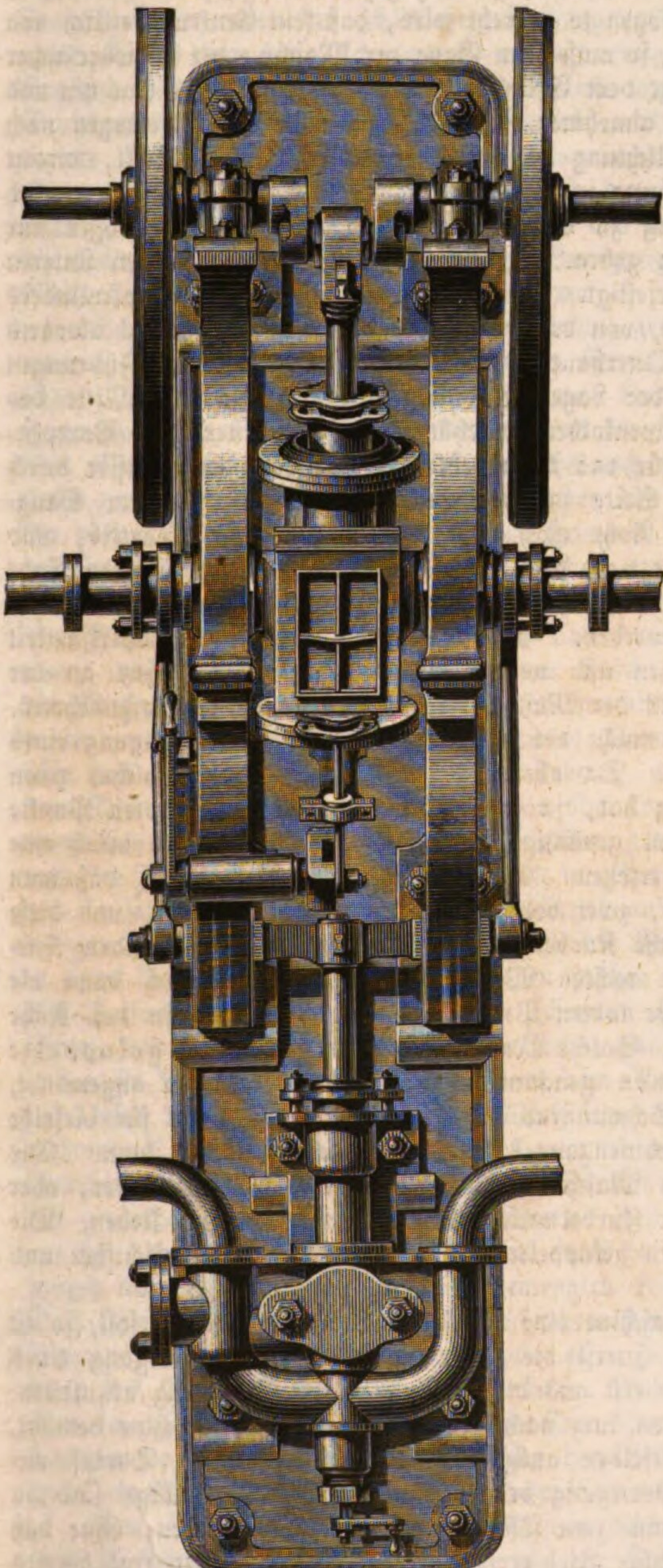
Die Fig. 209 und 210 zeigen eine oscillirende Maschine in der Seiten- und in der Vorderansicht. Die Maschine ist als eine sogenannte Wandmaschine construirt, d. h. ihre Haupttheile sind an einer starken, gegen eine Mauerwand geschraubten Gußplatte befestigt. In der mittleren Stellung des Cylinders steht die Achse desselben vertical. An der Mauerplatte sind zwei Böcke befestigt, welche in der Mitte die Lager für die Cylinderzapfen, und oben die Lager für die Kurbelwelle tragen. Der Dampfcylinder ist nun mit seinen Zapfen in den eben erwähnten Lagern so eingehängt, daß er zwischen den Lagerböcken hin und her schwingen kann. Die Kolbenstange greift unmittelbar, unter Ersparung der Schubstange, an die gekröpfte Kurbelwelle an. Auf dieser sitzen gleich außerhalb der Lager zwei kleine Schwungräder; diese Anordnung ist gewählt worden, weil ein einziges, größeres Schwungrad zu tief in die Wand einschneiden würde. Die beiden Zapfen am Dampfcylinder sind, wie schon früher gesagt wurde, hohl, und endet jeder von ihnen in eine Stopfbüchse. Durch diese Stopfbüchsen sind, ohne daß das Schwingen des Cylinders dadurch verhindert wird, mit letzterem die beiden Rohre verbunden, durch welche der frische Dampf vom Kessel nach dem Cylinder hin, und der gebrauchte aus diesem in die freie Luft geführt wird. Von den Zapfen aus gehen,

(Fig. 209.)



der äußern Cylinderwand entlang, zwei im Innern des Schieberkastens mündende Kanäle, wodurch der frische Dampf in den Schieberkasten gelangen, und der ge=

(Fig. 210.)



brauchte durch den betreffenden Zapfen entweichen kann. Der Schieberkasten ist am Dampfcylinder befestigt und nimmt, sammt dem Schieber, an der schwingenden Bewegung desselben Theil. Der Schieber, sowie die vom Schieberkasten aus nach den beiden Cylinderenden und in die freie Luft führenden Dampfcanäle sind gerade so angeordnet, wie bei der in Fig. 208 gezeichneten liegenden Maschine, wo diese Theile im Durchschnitt dargestellt sind. Die Bewegung des Schiebers geschieht auf eine eigenthümliche und sehr einfache Weise. Das Ende der, durch eine Stopfbüchse aus dem Schieberkasten herausgeführten Schieberstange bewegt sich beim Gange der Maschine in Folge des Oscillirens des Cylinders in einem Kreise, dessen Mittelpunkt in der Drehachse des Cylinders liegt. Nach diesem Kreise ist nun ein Gleitbogen construirt, und am Maschinengestelle so angebracht, daß das Ende der Schieberstange beim Schwingen des Cylinders darin hin und her gleiten kann. Der Gleitbogen selbst steckt auf einer kleinen, in einer Hülse gelagerten Achse, die durch einen Hebel

gedreht, und in verschiedenen Lagen festgehalten werden kann. Wird der Gleitbogen nun so gestellt, daß der Mittelpunkt seiner Krümmung in die Cylinder-Drehachse fällt, so wird durch das Schwingen des Cylinders keine Bewegung der Schieberstange und des Schiebers in Bezug zum Dampfcylinder entstehen. Wenn dagegen der Gleitbogen so gedreht wird, daß sein Centrum seitlich von der Cylinderdrehachse fällt, so muß beim Gang der Maschine der Schieber außer der Bewegung, die er mit dem Cylinder gemein hat, auch noch eine hin und her gehende gegen diesen annehmen. Je nachdem man den Gleitbogen nach der einen oder anderen Richtung dreht und in dieser Lage feststellt, nimmt die Kurbelwelle eine Drehung im einen oder anderen Sinne an. Um endlich die Maschine außer Gang zu bringen, braucht man dem Gleitbogen nur seine mittlere Stellung zu geben. — Die Speisepumpe ist an den unteren Theil der Mauerplatte befestigt. Mit den Drehzapfen des Dampfcylinders sind zwei Hebel verbunden, von denen aus zwei kleine Schubstangen abwärts an die Endzapfen eines Querhauptes gehen. Für letzteres sind Führungen in den unteren Theilen der Lagerböcke ausgearbeitet. In der Mitte des Querhauptes ist der Pumpenkolben angehängt. Dicht unter dem Pumpenstiefel sitzt das Gehäuse für das Saugventil, zu welchem das Wasser durch das Rohr an der linken Seite zugeleitet wird. Seitlich aus dem Saugventil-Gehäuse geht ein Rohr nach dem Gehäuse des Druckventils, und von diesem das Druckrohr nach dem Kessel. Durch eine am unteren Ende der Pumpe angebrachte Schraube kann das Saugventil gehoben, und in dieser Stellung erhalten werden. Es ist dadurch möglich, die Wirksamkeit der Pumpe zu unterbrechen und wieder eintreten zu lassen, ohne an der Verbindung der Pumpe mit der Maschine irgend eine Aenderung vorzunehmen.

Gekuppelte Maschinen. In einzelnen Fällen macht der vorhandene Raum die Anbringung eines Schwungrades unmöglich. Da aber eine Maschine ohne ein solches einen sehr unregelmäßigen Gang hat, ja nur mit Mühe über die todten Punkte hinüberkommt, so ist man genöthigt, das fehlende Schwungrad durch eine besondere Einrichtung zu ersetzen. Gewöhnlich besteht diese darin, daß man statt der einen Maschine, zwei von der halben Kraft anwendet, und diese so auf eine gemeinschaftliche Kurbelwelle wirken läßt, daß die beiden Kurbeln unter einander einen rechten Winkel bilden. Befindet sich dann die eine Kurbel in einem ihrer todten Punkte, so ist die andere in der Nähe ihrer günstigsten Stellung. Solche Maschinen werden gewöhnlich gekuppelte oder Zwillingsmaschinen genannt, und manchmal auch da angewandt, wo die Kurbelwelle ein Schwungrad trägt, indem dieses dann für dieselbe Gleichförmigkeit des Maschinenganges bedeutend leichter werden kann. Die beiden zusammenwirkenden Maschinen können entweder neben einander, oder auch zu beiden Seiten der Kurbelwelle, also einander gegenüber stehen. Die häufigste Anwendung finden gekuppelte Maschinen auf den Dampfschiffen und bei den Locomotiven.

Rotations-Maschine. Wenn eine Dampfmaschine eine Welle in Drehung versetzen soll, so ist es offenbar ein Umweg, zuerst die hin- und hergehende Bewegung eines Kolbens zu erzeugen, und erst aus dieser die drehende Bewegung abzuleiten. Man war daher auch schon kurz nach Erfindung der Dampfmaschine bemüht, eine solche Anordnung derselben auszusinnen, bei welcher der Dampf unmittelbar eine drehende Bewegung bewirkt. Zahlreiche Vorschläge sind in dieser Hinsicht gemacht, und zum Theil auch ausgeführt worden, ohne daß man bis jetzt das gewünschte Ziel erreicht hätte. Auch Watt trat bereits

mit einem Vorschlage zu einer Rotations-Dampfmaschine hervor, und sicherte sich das Recht, solche zu bauen, schon in seinem ersten Patente (unter Nr. 5); doch hat er von demselben keinen Gebrauch gemacht. Bei den bisher versuchten Maschinen dieser Art war es meist die Größe des Dampfverlustes oder der schädlichen Reibung und Abnützung, woran eine vortheilhafte Benutzung scheiterte. — Seit einigen Jahren erst wird in England eine Dampfmaschine verschiedentlich angewandt, bei welcher die Drehung einer Welle ziemlich direct bewirkt wird. Es ist dies die sogenannte Scheibenmaschine — disk-steam-engine — bei welcher eine in einem Gehäuse eingeschlossene Scheibe durch den Dampf eine eigenthümlich schaukelnde Bewegung erhält; so zwar, daß das Ende der Achse, auf welcher die Scheibe fest sitzt, eine kreisförmige Bewegung annimmt, und auf diese Weise ein Rad in Drehung zu setzen vermag.

Schließlich mögen noch zwei durch Dampf getriebene Maschinen erwähnt werden, die in neuerer Zeit eine häufige Benutzung gefunden haben: der Dampfhammer und die Dampframme. Beide sind von dem englischen Ingenieur James Nasmith erfunden und in die Praxis eingeführt worden. Der Dampfhammer besteht der Hauptsache nach aus einem von einem Gestelle getragenen Cylinder, durch dessen Boden die Kolbenstange hindurchgeht. An dem unteren Ende derselben ist der Hammer direct befestigt. Läßt man nun hochgespannten Dampf unter den Kolben treten, so wird der Hammer in die Höhe gehoben, und fällt durch sein Gewicht frei herab, sobald man den Dampf entweichen läßt. Ist der Cylinder oben geschlossen, so kann man, indem man Dampf auf die obere Fläche des Kolbens wirken läßt, die Wirkung und die Geschwindigkeit des herabfallenden Hammers noch bedeutend vergrößern. Durch eine besondere Vorrichtung läßt sich die Fallhöhe des Hammers mit Leichtigkeit verändern, und indem man den unter dem Kolben befindlichen Dampf schneller oder langsamer aus dem Cylinder entweichen läßt, oder den Austritt desselben gar vollständig hemmt, kann man die Fallgeschwindigkeit des Hammers in jedem beliebigen Grade mäßigen und denselben an jedem Punkte seines Weges anhalten und zum Stillstehen bringen. Zum Beweise, wie vollständig sie die Wirkung des Dampfhammers in ihrer Gewalt haben, machen die einen solchen bedienenden Arbeiter gerne den Versuch, mit dem viele Centner schweren Hammer eine Haselnuß zu öffnen, und zwar so, daß der Kern derselben ganz unverletzt bleibt. Dabei halten sie die Nuß mit den Fingern auf dem Ambos fest. Der Verfasser sah dieses Kunststück in den großen Werkstätten des Arsenals in Woolwich mehreremal wiederholen, ohne daß es einmal mißlungen wäre. Für die Bearbeitung des Schmiedeeisens sind die Dampfhämmer von großer Wichtigkeit geworden. Dieselben werden in neuerer Zeit fast allgemein angewandt, um bei der Umwandlung des Roheisens in Schmiedeeisen durch den Puddelprozeß die dem Eisen mechanisch beigemengten fremden Stoffe zu entfernen. Das Eisen wird zu dem Ende in glühendem Zustande mehrmals unter dem Hammer durchgearbeitet, gleichsam geknetet. Ferner macht es die Anwendung des Dampfhammers möglich, manche Maschinentheile aus Schmiedeeisen anzufertigen, die ihrer großen Dimensionen oder ihrer schwierigen Formen wegen früher nur aus Gußeisen hergestellt wurden. Jede gut eingerichtete Maschinenfabrik kann eines Dampfhammers gar nicht mehr entbehren.

Der Dampfhammer.

Die Dampframme ist ebenfalls von Nasmith erfunden worden, und nach ähnlichen Grundsätzen construirt wie der Dampfhammer. Wie bei die-

Die Dampframme.

sem der Hammer, so ist bei jener der Rammklotz direct mit der Kolbenstange eines vertikal stehenden Dampfcylinders verbunden. Um trotz des fortwährenden Einsinkens des einzurammenden Pfahles eine solche directe Wirkung der Dampfmaschine auf den Rammklotz zu ermöglichen, hat Nasmith eine sehr sinnreiche Einrichtung getroffen. Am unteren Ende des Cylinders sind nämlich zwei starke Leitschienen befestigt, zwischen denen sich der Rammklotz auf und nieder bewegt. Diese Leitschienen umfassen den Kopf des einzurammenden Pfahles und sitzen auf einem an diesem ausgearbeiteten Ansatze fest auf, so daß der Dampfcylinder mit den zugehörenden Theilen von dem Pfahle selbst getragen wird, und diesem also beim Einsinken fortwährend folgt. Das Zuleitungsrohr des Dampfes besteht aus mehreren beweglich unter einander verbundenen Stücken. Zur geradlinigen Führung des Dampfcylinders und des einzuschlagenden Pfahles dient ein hoher, vertikal stehender Pfosten, der an seinem unteren Ende mit einer kleinen Plattform verbunden und gegen diese fest verstrebt ist. Auf dieser Plattform ist der Dampfkessel angebracht, sowie zwei Häspel, von denen der eine dazu dient, den Dampfcylinder nach beendetem Einrammen eines Pfahles wieder in die Höhe zu winden, und der andere, die Pfähle emporzurichten und in die nöthige vertikale Stellung zu bringen. Beide Häspel werden durch eine kleine auf der Plattform befestigte Dampfmaschine mit liegendem Cylinder in Bewegung gesetzt. Der Rammklotz hat gewöhnlich ein Gewicht von 20 bis 50 Centner, und eine Fallhöhe von $2^1/_2$ bis 3 Fuß. Die Beschleunigung der Arbeit, sowie die Verminderung der Kosten derselben, sind bei Anwendung der Dampframme sehr bedeutend. Dieselbe wird deshalb auch häufig gebraucht, wo bei größeren Wasserbauten umfangreiche Rammarbeiten vorzunehmen sind. So sind bei den großen Brückenbauten über die Weichsel, sowie bei dem Bau der Pfeiler für die neue Rheinbrücke bei Köln mehrere Dampframmen benutzt worden.

Transportable Dampfmaschinen.

Für manche Zwecke ist die Dampfmaschine erst in den letzteren Jahren und zwar dadurch anwendbar gemacht worden, daß man ihr eine Einrichtung giebt, welche gestattet, sie mit Leichtigkeit von einem Orte zum anderen zu schaffen. Zu dem Ende wird der Dampfkessel nicht eingemauert, sondern erhält eine Anordnung ähnlich der bei der Locomotive. Mit diesem Dampfkessel wird dann die eigentliche Dampfmaschine in eine möglichst directe und raumsparende Verbindung gebracht, und beide auf einem mit Rädern zur Fortbewegung versehenen Gestelle befestigt. Die ganze Maschine kann so, wie jeder Wagen, nach dem Orte hingefahren werden, wo man ihrer Leistung gerade bedarf. Um diese fortzuleiten, wird gewöhnlich um das Schwungrad der Maschine und um eine mit der zu treibenden Maschine verbundenen Rolle ein Riemen geschlungen. Von besonderer Wichtigkeit sind die transportablen Maschinen besonders für die Landwirthschaft geworden, indem diese sich erst hierdurch die Dampfkraft ebenso zu Nutzen machen konnte, wie die übrigen Gewerbe. In England findet man auf den meisten größeren Gütern eine kleine Dampfmaschine, welche zum Betriebe von Dreschmaschinen, Schrotmühlen, Häckselmaschinen und dergleichen gebraucht wird. Auch bei manchen Bauten kann man sich mit Vortheil einer transportablen Dampfmaschine bedienen, um Materialien auf die Gerüste zu heben, die Baugrube auszupumpen, Mörtel zu mahlen u. s. w.

Dampfkessel.

Bis hierhin ist nur die Dampfmaschine selbst betrachtet worden; es erübrigt nun noch, einiges über die Apparate zu sagen, welche zur Erzeugung

des erforderlichen Dampfes dienen. In allen Fällen wird der Dampf in größeren, aus Metall gefertigten Gefäßen entwickelt, die, welches auch sonst ihre Form sein möge, den Namen Dampfkessel führen. Watt bediente sich bei seinen Maschinen einer Art von Dampfkessel, deren Grundform die eines vierseitigen, an beiden Enden geschlossenen Rohres war; dabei waren die beiden Seitenwände, sowie der Boden etwas nach innen eingebogen, die Decke dagegen war etwas gewölbt. Solche Kessel — unter dem Namen Kofferkessel bekannt — sind aber nur dann anwendbar, wenn die Spannung des Dampfes die der äußeren Luft nur wenig übersteigt. Denn der auf die innere Kesselwandung wirkende Dampfdruck hat fortwährend das Bestreben, den im Querschnitt viereckigen Kessel in einen cylindrischen zu verwandeln. Um diese Formänderung zu verhindern, müssen bei einem Kofferkessel die gegenüberstehenden Wände durch starke Zugstangen gegeneinander gehalten werden. Offenbar ist die Form des Watt'schen Kessels eine hinsichtlich der Festigkeit ungünstige, und da bei der gleichmäßigen Wirkung des inneren Dampfdruckes auf den Kessel die cylindrische Form desselben die einzige ist, welche auch durch die größte Dampfspannung nicht geändert werden kann, so verdrängten cylindrische Kessel die älteren sehr bald, als man anfing höher gespannte Dämpfe anzuwenden. Der einfache cylindrische Kessel ist fast überall, wo man den nöthigen Raum zu seiner Aufstellung hat, der solideste und beste. Die Feuerung wird bei demselben so angeordnet, daß etwa die Hälfte seiner äußeren Oberfläche von den heißen Gasen berührt wird. Man nennt den Theil der Kesselfläche, welcher vom Feuer und den brennbaren Gasen bestrichen wird, gewöhnlich die Feuerfläche. Je größer dieselbe bei einem Kessel ist, jemehr Dampf vermag derselbe in einer gewissen Zeit zu erzeugen. Im Mittel genügt für die stündliche Entwickelung von 1 Pfund Dampf eine Feuerfläche von $1/4$ Quadratfuß.

Der Wunsch, bei Kleinerhaltung des ganzen Kessels doch eine möglichst große Feuerfläche zu erhalten, hat dazu geführt, mit dem einfachen cylindrischen Kessel verschiedene Modificationen vorzunehmen. Zuerst brachte man unter dem Hauptkessel ein oder zwei cylindrische Rohre — Siedröhren oder Bouilleurs genannt — an, welche durch kurze Rohrstücke mit jenem in Verbindung stehen. Diese Siedröhren sind ganz mit Wasser gefüllt und werden ringsum vom Feuer umspült. Der Hauptkessel, welcher auch den Dampfraum enthält, kommt hierbei nur mit den bereits etwas abgekühlten Feuergasen in Berührung, und wird in Folge dessen merklich geschont. Die ganze Anordnung ist indessen durchaus nicht zu empfehlen, da der sich in den Siedröhren bildende Dampf nur schwer aus diesen entweichen kann und an der inneren Rohrwand eine förmliche Schicht bildet, welche als schlechter Wärmeleiter das Eindringen von Wärme wesentlich behindert. Zur Vergrößerung der Heizfläche hat man auch, und zwar zuerst in England, durch einen cylindrischen Kessel der Länge nach ein oder zwei weite Rohre hindurchgelegt, und in diesen den Rost und die Feuerung angebracht. Die heißen Gase streichen hierbei zuerst durch jene Rohre hindurch und werden dann auch nochmals an der äußeren Kesselwand entlang geführt. Solche Kessel, gewöhnlich Cornische Kessel genannt, haben den Uebelstand, daß die weiten Feuerrohre, auf welche der Dampfdruck von außen nach innen wirkt, leicht unrund werden und einen ovalen Querschnitt annehmen. Dies ist aber einmal für die Festigkeit des Kessels gefährlich, und dann verursacht es auch leicht ein Leckwerden desselben. — Die verhältnißmäßig bedeutendste Ver-

größerung der Heizfläche läßt sich aber dadurch erhalten, daß man die durch einen cylindrischen Kessel hindurchgehenden Röhren von geringem Durchmesser, etwa von $1^1/_2$ bis $2^1/_2$ oder 3 Zoll, aber in großer Anzahl nimmt. Die Verbrennung des Brennstoffes geschieht dann in einem besonderen, vor dem Kessel angebrachten Feuerraum, aus dem die heißen Gase durch die vollständig von Wasser umgebenen Rauchröhren des Kessels nach dem Schornsteine abziehen. Solche Röhrenkessel werden immer da angewandt, wo möglichste Compendiösität des Kessels eine wesentliche Bedingung ist, z. B. bei Locomotiven und häufig auch auf Dampfschiffen.

In der ersten Zeit wurden die Dampfkessel zuweilen aus Gußeisen oder auch wohl aus Kupfer gefertigt. Das Gußeisen eignet sich hierzu aber durchaus nicht, da seine Festigkeit eine zu geringe, und die Gefahr des Zerspringens bei Kesseln aus diesem Material zu groß ist. Das Kupfer ist, was seine Eigenschaften betrifft, für den gedachten Zweck zwar sehr passend, allein sein Preis ist zu hoch, um eine solche Verwendung zuzulassen. Gegenwärtig werden alle Dampfkessel aus Eisenblech hergestellt, und zwar aus einzelnen Platten, welche mittelst Niethen unter einander verbunden werden. Die Dicke der Platten richtet sich einestheils nach der größten Spannung, welche der zu erzeugende Dampf soll erreichen dürfen, und anderentheils nach den Abmessungen des Kessels. In den bedeutenderen industriellen Staaten ist die Dicke des jedesmal anzuwendenden Kesselblechs durch besondere gesetzliche Verordnungen vorgeschrieben.

Jeder Dampfkessel darf nur zum Theil mit Wasser angefüllt sein, damit stets eine solche Menge Dampf vorhanden ist, daß die kleinen Veränderungen in der Produktion und in dem Abflusse des Dampfes nicht zu bedeutende Schwankungen in der Spannung desselben hervorrufen. Gewöhnlich werden $^3/_5$ des Kesselraumes vom Wasser, und $^2/_5$ vom Dampfe eingenommen. Damit der nach der Maschine entweichende Dampf nicht zu viele Wassertheilchen mit sich fortreiße und möglichst trocken sei, bringt man in der Regel noch einen besonderen Aufsatz auf dem Kessel an, den sogenannten Dampfdom, und leitet erst von diesem aus den Dampf nach dem Cylinder hin. — Das Wasser muß fortwährend alle Theile der Kesselwand bedecken, welche außen von den heißen Gasen berührt werden. Denn sobald solche Stellen vom Wasser entblößt sind, ist Gefahr da, daß dieselben glühend und so die Veranlassung zu Kesselexplosionen werden. Enthält das Wasser, womit der Kessel gespeist wird, aufgelöste Salze, z. B. Kalksalze, so schlagen sich dieselben bei der Verdampfung des Wassers nieder, und bilden an der Kesselwand meist harte Krusten, den Kesselstein. Haben dieselben eine gewisse Dicke erreicht, so müssen sie beseitigt werden, was entweder durch Losschlagen mit Hammer und Meißel, oder aber durch chemische Lösungsmittel geschieht. In neuerer Zeit hat man der Bildung des Kesselsteins dadurch vorgebeugt, daß man dem Wasser solche Substanzen beigemischt hat, durch welche das im Speisewasser Gelöste nicht als eine feste steinige, sondern als eine ganz lockere, leicht zu beseitigende Masse ausgeschieden wird.

Die Dampfkessel werden meist in Oefen, die aus guten, zum Theil aus feuerfesten Backsteinen bestehen, eingemauert. Als Brennmaterial dient am Allgemeinsten die Steinkohle; doch wird in einzelnen Gegenden auch mit Holz oder Torf gefeuert. Je nach dem Brennmaterial ist der Feuerraum und der Rost etwas anders construirt. Zwischen dem Kessel und der Einmauerung sind die nöthigen Züge offen gelassen, durch welche die im Feuer-

raume gebildeten heißen Gase nach dem Kamine entweichen, indem sie auf diesem Wege den größeren Theil ihrer Wärme an das im Kessel befindliche Wasser abgeben. Manchmal werden die als Produkte der Verbrennung entstandenen Gase nur einmal unter dem Kessel hergeführt, während sie in anderen Fällen mehrmals unter demselben hin und her geleitet werden, ehe sie in den Kamin gelangen. Bei der Anordnung der Züge muß auch hauptsächlich darauf gesehen werden, daß die heißen Gase nur mit den vom Wasser bedeckten Theilen der Kesselwand in Berührung kommen. — Um das Zuströmen der zur Verbrennung erforderlichen Luft zu veranlassen, wird gewöhnlich ein hoher Kamin errichtet, durch welchen die gasförmigen Verbrennungs-Produkte entweichen. Wie ein Kamin im Stande ist, durch den Rost hindurch dem Brennmaterial stets frische Luft zuzuführen, oder mit anderen Worten, den nöthigen Zug hervorzurufen, findet der Leser auf S. 145 dieses Bandes näher erläutert. Die durch den Kamin abziehenden Gase besitzen immer noch eine ziemlich hohe Temperatur, die zwischen 200 bis 400 Grad beträgt; die in diesen Gasen enthaltene Wärme geht für die Dampferzeugung verloren. Es ist dies eine der Hauptursachen, warum auch bei den besteingerichteten Dampfkessel-Feuerungen nur zwei Drittel der Wärmemenge, welche der verzehrte Brennstoff bei vollständiger Verbrennung zu erzeugen vermag, wirklich dampfentwickelnd wirkt. Zum Verlust an dem Effekt des Brennstoffes trägt auch der Umstand bei, daß ein Theil des Brennmaterials unverzehrt, als schwarzer Rauch, durch den Kamin weggeführt wird. Der Rauch besteht nämlich aus nichts Anderem, als aus unverbrannten kleinen Kohlentheilchen, die in der Umgebung des Kamins allmählig niederfallen, und häufig, besonders in Städten, sehr belästigend sind. Aus diesem Grunde ist vor vier Jahren in England eine Parlaments-Akte erlassen worden, welche allen Besitzern von Dampfkesseln in London befiehlt, solche Anordnungen zu treffen, daß aus ihren Kaminen niemals Rauch entweiche. Um dies zu ermöglichen, muß der Rauch im Ofen selbst verbrannt werden; es muß dafür gesorgt werden, daß auch nicht der kleinste Theil des Brennmaterials sich der Verbrennung entziehen kann. Das Nichtrauchen des Kamins gewährt daher außer den anderen Annehmlichkeiten auch immer Vortheile in Bezug auf den Brennstoffverbrauch. In den letzten Jahren sind, hauptsächlich veranlaßt durch jenes englische Gesetz, zahllose Vorschläge zur Einrichtung rauchfreier Feuerungen gemacht worden. Zu den besten jener Vorschläge gehört jedenfalls der, welcher von Dr. Gall ausgegangen und von ihm in mehreren Aufsätzen der allgemeinen Beurtheilung unterbreitet worden ist.

Wasserstandzeiger.

Jeder Dampfkessel muß mit Vorrichtungen versehen sein, durch welche man in jedem Augenblick erfahren kann, wie hoch der Wasserstand im Kessel und wie groß die Dampfspannung in demselben ist, und ferner muß eine Vorrichtung vorhanden sein, welche selbstthätig verhindert, daß die Dampfspannung eine gewisse Größe nicht übersteigen kann. — Für die Sicherheit des Kessels ist es von der größten Wichtigkeit, daß der Wasserstand in demselben nie bedeutend von dem normalen abweiche, daß er namentlich nie zu tief hinabsinke. Die Mehrzahl aller Kesselexplosionen entsteht durch zu niederen Wasserstand im Kessel. Um die Höhe desselben zu beobachten, giebt es hauptsächlich drei Mittel: Schwimmer, Probirhähne und Glasröhren. Ein Schwimmer besteht aus einem auf dem Kesselwasser schwimmenden Körper, an dem ein Draht befestigt ist, welcher durch eine kleine Stopfbüchse hin-

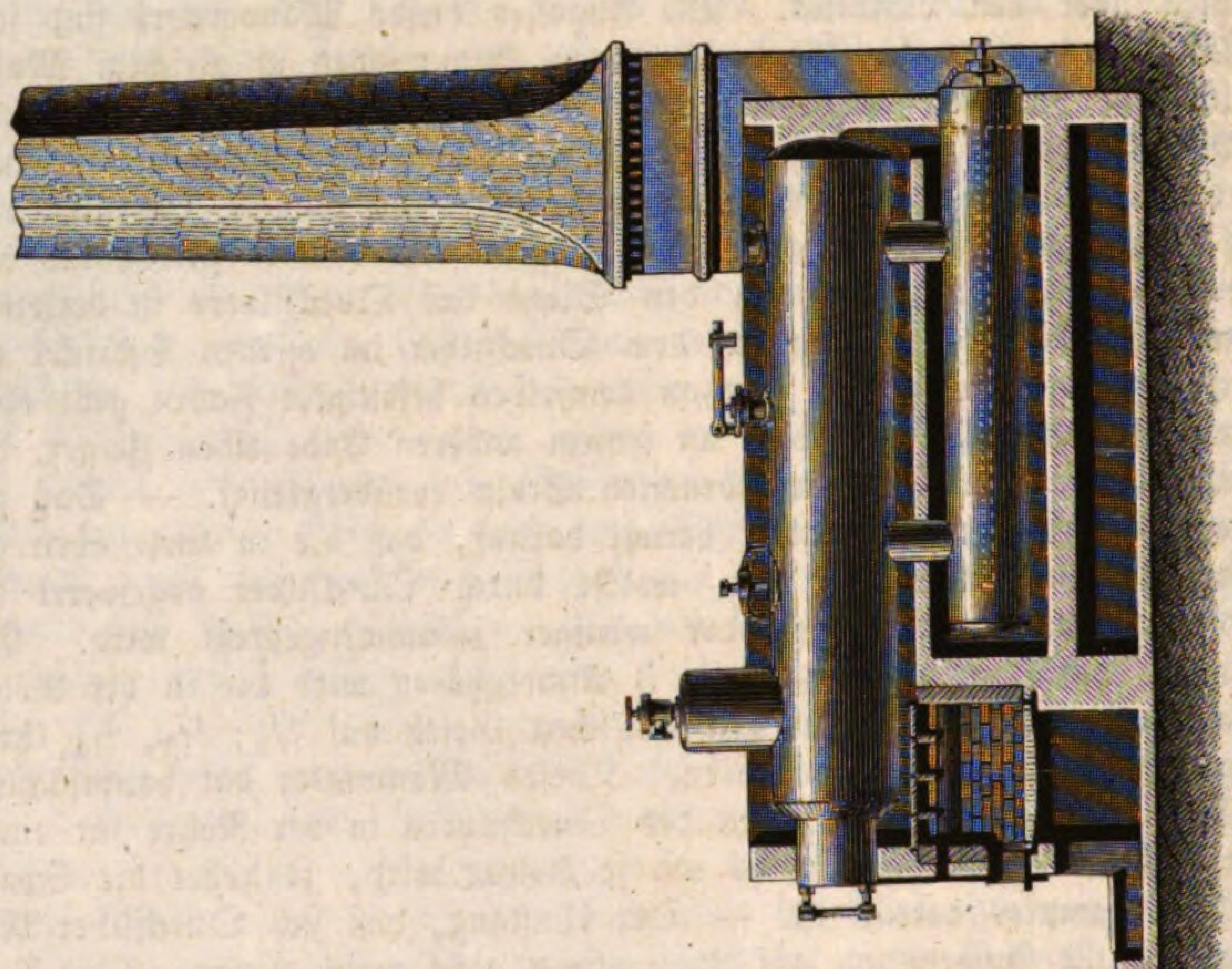
durch aus dem Kessel heraus geführt wird. Dieser Draht trägt nun entweder direct einen Zeiger, der auf einer nebenstehenden Scala den Wasserstand im Kessel erkennen läßt, oder er faßt an einen um eine Achse drehbaren Zeiger, der dann die Aenderungen im Wasserstande beliebig vergrößert anzeigt. Die Angaben des Schwimmers werden dadurch leicht etwas unzuverlässig, daß in Folge der demselben von dem siedenden Wasser mitgetheilten Bewegungen ein Klemmen des Drahtes in der Stopfbüchse eintritt. — Die Probirhähne, einfache kleine Hähne, werden gewöhnlich an der vorderen Endfläche des Kessels angebracht, und zwar einer in der normalen Höhe des Wasserspiegels, sowie zwei andere an den Punkten, bis zu denen man ein Sinken oder Steigen des Wasserstandes gestatten will. Hat der letztere genau die richtige Höhe, so muß beim Oeffnen aus dem oberen Hahne nur Dampf, aus dem mittleren Wasser mit Dampf vermischt, und aus dem unteren nur Wasser entweichen. Bei den Probirhähnen ist besonders darauf zu sehen, daß dieselben nicht durch Kesselstein verstopft werden. — Das beste und bequemste Mittel zur Erkennung des Wasserstandes ist ein vor dem Dampfkessel angebrachtes Glasrohr von etwa 10 Zoll Länge, dessen oberes Ende mit dem Dampfraum, und dessen unteres Ende mit dem Wasserraum des Kessels in Verbindung steht. Nach dem Gesetz der communicirenden Röhren wird dann die Wassersäule im Glasrohre mit dem Wasser im Kessel stets gleiche Höhe haben. Auch bei dieser Vorrichtung hat man darauf zu achten, daß die Verbindungen der Glasröhre mit dem Kessel sich nicht verstopfen. — An jedem Kessel werden mindestens zwei verschiedene Wasserstandszeiger angebracht, einmal um die Angaben des einen durch die des anderen controlliren zu können, und dann auch, um bei etwaigem Versagen von einem derselben doch nie ohne Kenntniß des Wasserstandes zu sein. Nach den Angaben der Wasserstandszeiger wird das Zupumpen des frischen Speisewassers von dem Maschinenwärter oder dem Heizer geregelt. Um hierbei von dem Gange der Maschine unabhängig zu sein, läßt man in neuerer Zeit das Speisewasser häufig durch eine besondere kleine Dampfpumpe dem Kessel zuführen. Es besteht dieselbe aus einer einfachen Saug- und Druckpumpe, deren Kolbenstange meist die direkte Verlängerung der Kolbenstange einer kleinen Hochdruckmaschine ist.

Manometer. Zur Erkennung der Dampfspannung im Kessel bedient man sich verschiedener Apparate, die unter dem Namen **Manometer** zusammengefaßt werden. Die gebräuchlichsten derselben sind das offene und das geschlossene Quecksilbermanometer. Jenes besteht aus einer vertikal stehenden Uförmig gebogenen Röhre, deren einer Schenkel doppelt so lang ist, als der andere. Der längere Schenkel ist oben offen, der kürzere steht mit dem Dampfraume des Kessels in Verbindung. In die Röhre wird nun, während im Kessel nur die gewöhnliche Spannung der Atmosphäre herrscht, Quecksilber eingefüllt, und zwar so lange, bis dasselbe ungefähr bis zum oberen Ende des kürzeren Schenkels steht. Wenn die Dampfspannung im Kessel gerade **eine** Atmosphäre beträgt, steht das Quecksilber in beiden Röhrenschenkeln auf gleicher Höhe. Wächst aber die Dampfspannung, so preßt sie das Quecksilber in dem kürzeren Schenkel hinab, und macht es gleichzeitig in dem anderen empor steigen. Der Abstand der Quecksilber-Spiegel in den beiden Schenkeln bemißt hierbei die Spannung des Dampfes, und zwar entspricht jeder Zoll dieses Abstandes einem Drucke des Dampfes auf den Quadratzoll von nahe 0,48 Pfund. Die so gemessene Spannung ist der Ueberdruck des

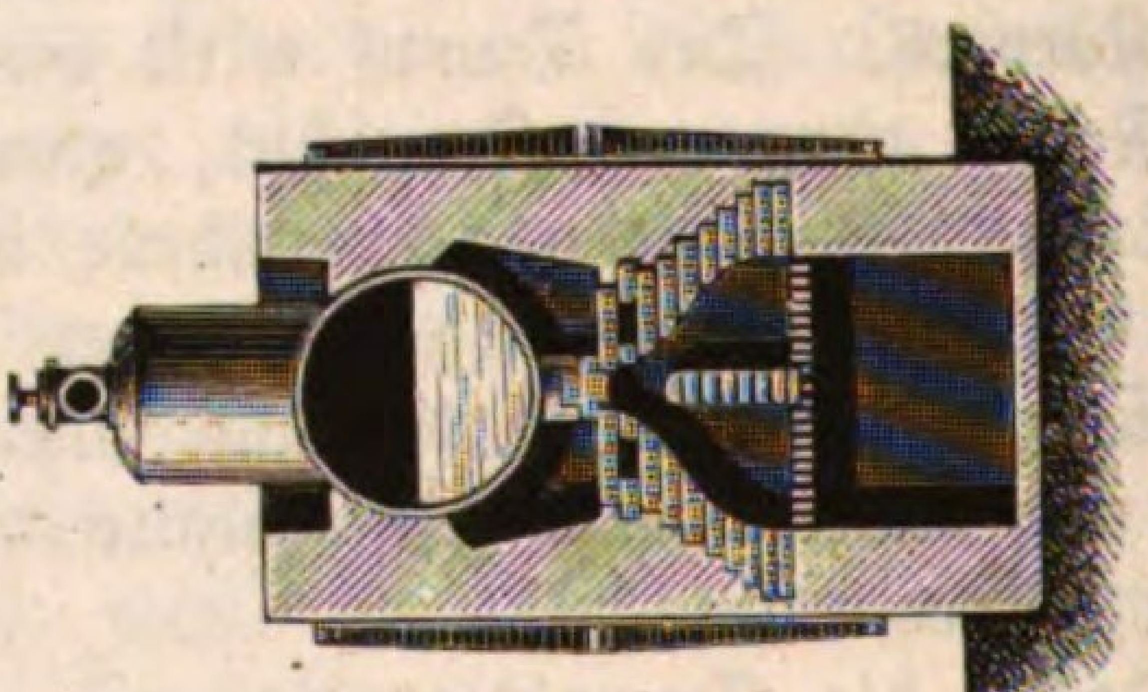
Dampfes über den Luftdruck. Die Angaben dieses Manometers sind sehr zuverlässig und zwar für die verschiedenen Spannungen in gleichem Maße; dasselbe hat nur den Nachtheil, daß es eine ziemlich bedeutende Menge Quecksilber erfordert, indem z. B. bei einem Manometer, welches noch einen Ueberdruck von 4 Atmosphären anzeigen soll, der längere Schenkel eine Länge von etwa 11 Fuß haben muß. Die Röhre wird gewöhnlich von Schmiedeeisen gemacht; um nun den Stand des Quecksilbers in derselben erkennen zu können, läßt man auf dem Quecksilber im offenen Schenkel ein Stückchen Eisen schwimmen. Ein an demselben befestigter Faden geht oben über eine kleine Rolle und trägt an seinem anderen Ende einen Zeiger, der an einer in bequemer Höhe angebrachten Scala vorübergleitet. — Das geschlossene Quecksilber-Manometer beruht darauf, daß die in einer oben geschlossenen Röhre enthaltene Luft, welche durch Quecksilber abgesperrt ist, durch den Dampfdruck mehr oder weniger zusammengepreßt wird. Ein Ueberdruck des Dampfes von 1, 2, 3 Atmosphären wird die in der Röhre eingeschlossene Luft nach dem Mariotte'schen Gesetz auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ihres anfänglichen Volumens comprimiren. Dieses Manometer hat hauptsächlich den Uebelstand, daß das Steigen des Quecksilbers in der Röhre für einen und denselben Spannungszuwachs um so kleiner wird, je höher die Spannung des Dampfes bereits ist. — Der Umstand, daß sich Quecksilber-Manometer für die Anwendung auf Locomotiven nicht wohl eignen, ist die Veranlassung zur Erfindung zahlreicher anderer Manometer geworden. Bei den Meisten derselben tritt der Dampfdruck nicht, wie bei den eben besprochenen beiden Manometern, ins Gleichgewicht mit dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule oder mit der Elasticität eines Gases, sondern mit der Elasticität eines festen Körpers. Der Dampf wirkt hierbei gewöhnlich auf eine dünne Platte von Metall oder von Kautschuk, oder auch wohl auf sehr dünnwandige, spiralförmig oder anders gewundene metallene Röhrchen. Die Formänderung, welche diese Körper durch den Dampfdruck erleiden, wird nun auf die eine oder andere Weise auf einen Zeiger übertragen, der auf einem hinter ihm angebrachten Zifferblatte die jedesmalige Dampfspannung sehr bequem erkennen läßt.

Damit die Dampfspannung nie eine Größe erreiche, welche für die Festigkeit des Kessels gefährlich ist, werden Sicherheitsventile angebracht, d. h. Ventile, welche durch Gewichte oder Federn gerade so stark belastet sind, daß sie sich öffnen, sobald die Dampfspannung eine Höhe erreicht, welche nicht überschritten werden soll. Soll die Dampfspannung, wenn die Ventile sich einmal geöffnet haben, nicht ferner anwachsen, so muß die Oeffnung, welche sie dem austretenden Dampfe darbieten, so groß sein, daß eben soviel Dampf durch sie entweichen, wie gleichzeitig gebildet werden kann. Sinkt die Spannung im Kessel wieder unter die zur Lüpfung der Ventile erforderliche, so werden diese sich wiederum schließen. Da die Thätigkeit des Sicherheitsventils eine so wichtige ist, so ist besonders darauf zu achten, daß es sich stets in gutem Zustande befindet. Sicherheitsventil.

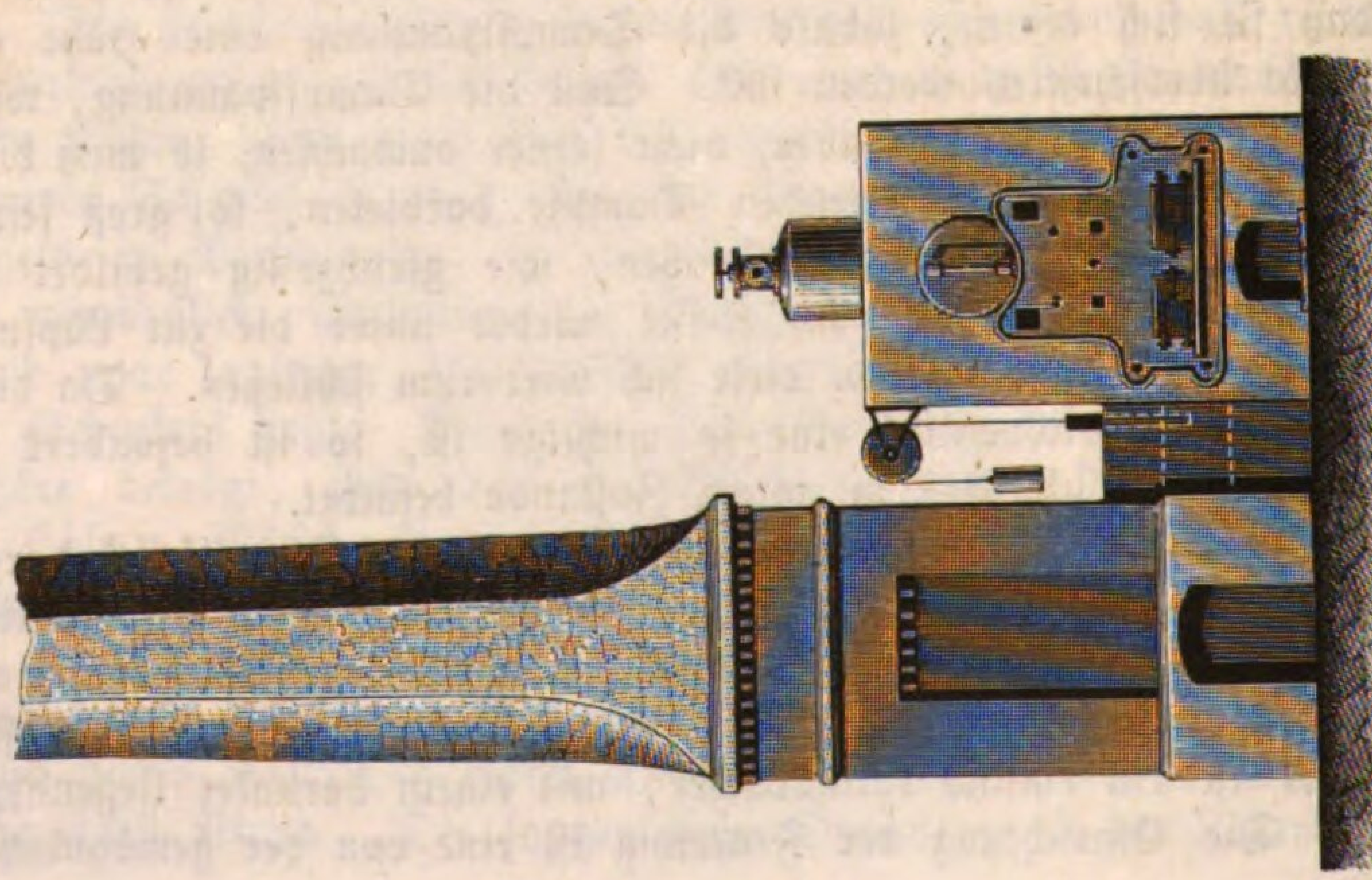
In den Fig. 211 — 213 ist ein eingemauerter Dampfkessel dargestellt. Fig. 211 zeigt eine Vorderansicht des Kesselofens, sowie den seitlich von diesem stehenden Kamin. Fig. 212 ist ein durch den Feuerraum geführter Querschnitt des Kessels, und Fig. 213 ein Längsschnitt durch den Kesselofen. Der Kessel ist ein einfach cylindrischer, mit einem darunter liegenden Vorwärmer. Die Einrichtung der Feuerung ist eine von der gewöhnlich ange-



(Fig. 213.)



(Fig. 212.)



(Fig. 211.)

wandten etwas abweichende, und bezweckt eine theilweise Verbrennung des Rauches. Das Feuer liegt nicht unmittelbar unter dem Kessel, sondern der Feuerraum ist überwölbt. In der Mitte dieses Gewölbes befindet sich eine Spalte von der gleichen Länge, wie die des Rostes. Zu beiden Seiten dieser Spalte sind in dem Mauerwerk Kanäle angebracht, die an der Vorderfläche des Ofens ausmünden, und welche durch eine größere Zahl von kleinen Oeffnungen mit jener Spalte in Verbindung stehen. Auf diese Weise kann die äußere Luft in die beiden Seitenkanäle eindringen, sich hier erwärmen, und zu den sich durch die Spalte hindurchdrängenden Feuergasen gelangen. Der diesen noch beigemengte Rauch wird hierdurch zum größten Theile verbrannt. Damit indessen die durch die Spalte schlagende Flamme dem Kessel nicht als Stichflamme nachtheilig werden möge, ist in einiger Entfernung über der Spalte durch eine Schicht Steine eine Art von Schirm gebildet. Durch eine bis in die Nähe der Spalte hinauf reichende Zwischenmauer wird der Rost und der Feuerraum in zwei gleiche Theile geschieden, Fig. 212. Diese Einrichtung hat den Zweck, die beiden Rosthälften abwechselnd beschicken zu können, so daß sich auf der einen ein hellbrennendes Feuer befindet, wenn auf die andere eben neue Kohlen aufgeschüttet werden. Auch diese einfache Vorrichtung dient dem Zwecke der Rauchverbrennung. Die aus dem Feuerraume unter den Kessel gelangenden Gase umspülen die untere Hälfte desselben, und treten am Ende des Kessels abwärts in den Kanal, in welchem der Vorwärmer liegt. Dieser Kanal ist durch eine an den Vorwärmer anstoßende Zwischenwand in eine obere und untere Hälfte getheilt, welche aber am vorderen Ende des Vorwärmers in Verbindung stehen. Die Feuergase bestreichen nun zuerst die obere, dann die untere Hälfte des Vorwärmers, und entweichen endlich durch einen seitlich geführten Kanal in den Kamin, Fig. 211. In diesem Kanale befindet sich ein Schieber zur Regulirung des Zuges. Das Speisewasser wird zunächst in den Vorwärmer eingepumpt, und gelangt aus diesem durch die beiden Hälse, welche ihn mit dem Hauptkessel verbinden, bereits sehr erwärmt in letzteren hinein. An seinem vorderen Ende hat der Kessel einen Rohrstutzen, der durch das Ofengemäuer hindurchgeht, und zur Anbringung des Wasserstandglases dient. Auf dem auf den Kessel aufgesetzten Dampfdom ist das Dampfabsperrventil angebracht. Von den zur Reinigung des Kessels dienenden beiden Mannlöchern befindet sich das eine auf dem Hauptkessel, das andere an der hinteren Endfläche des Vorwärmers. Ein oder zwei Sicherheitsventile vervollständigen die Ausrüstung des Kessels, und setzen ihn in betriebsfähigen Stand.

Das Dampfschiff.

So weit unsere geschichtliche Kenntniß der früheren Jahrtausende zurückreicht, ist die Schifffahrt stets das wichtigste Mittel des Verkehrs zwischen den verschiedenen Ländern und Völkern gewesen. Die ersten Anfänge der Cultur und der Staatenbildung führen uns immer in größere Flußthäler, an die Ufer des Nils, des Euphrats und des Ganges. An den Ufern dieser großen Ströme treiben Künste und Wissenschaften ihre ersten Blüthen. Während die mächtigen egyptischen Könige Städte bauten, wie Theben und Memphis, deren Ruinen noch die heutige Nachwelt mit Staunen erfüllen, waren die Priester des Landes bemüht, den Schleier zu lüften, der über den Erscheinungen und Gesetzen der Natur noch dicht ausgebreitet lag. Wichtiger aber noch und von größerem Einflusse als die Ströme war das Meer als länderverbindendes Mittel. Ueber das Meer hin schickten Phönicier und Hellenen zahlreiche Colonisten aus, und gründeten blühende Niederlassungen an allen Küsten des Mittelmeeres; ich erinnere nur an Carthago, an Ephesus, Milet und Syracus. Die zahlreichen Inseln des ägäischen, wie des ganzen Mittelmeeres bildeten hierbei gleichsam eine Brücke. Fast alle europäischen Verhältnisse erlitten eine bedeutende Umgestaltung, als im fünfzehnten Jahrhundert die Schifffahrt große Fortschritte machte, als Vasco de Gama den Seeweg nach Ostindien fand, und der kühne Genuese einen vierten Erdtheil entdeckte. Von dieser Zeit an erhielt die Schifffahrt eine über ihre frühere noch weit hinausgehende Bedeutung. In Folge der großen nautischen Entdeckungen waren manche Orte, für welche die Schifffahrt Verbindungen herzustellen hatte, durch Entfernungen von einander getrennt, gegen welche die früher zurückgelegten Wege nur unbedeutend erscheinen. Man denke nur an die Fahrten der Spanier nach Peru und Mexiko um das Cap Horn, an die Reisen der Holländer nach Java und den ostindischen Inseln. Dabei wuchs auch die Zahl dieser Reisen immer mehr, und mit ihrer Sicherheit und Schnelligkeit waren die wichtigsten Interessen des täglich an Ausdehnung zunehmenden Handels aufs engste verknüpft.

Der Zweck jeder Schifffahrt wird in um so größerem Maße erfüllt werden können, je vollkommener die Mittel sind, deren man sich zur Fortbewegung der Schiffe zu bedienen weiß. Beim Hinunterfahren der Flüsse hat man sich anfänglich wohl ganz der Strömung überlassen, dagegen beim Hinauffahren das gleiche Mittel wie beim Landtransporte angewandt, und sich durch Menschen oder Thiere den Fluß hinauf ziehen lassen. Dies Verfahren ist aber nicht immer anwendbar, da es bedingt, daß das Schiff in der Nähe des Ufers fahren kann, und daß auf diesem für die vorgespannten

Thiere ein Weg, ein sogenannter Leinpfad, vorhanden ist. Zwei andere, ebenfalls schon im hohen Alterthum bekannte Mittel zur Fortbewegung der Schiffe sind das Segel und das Ruder. Die Anwendung des Segels gewährt ihrer großen Billigkeit halber bedeutende Vortheile, aber diese werden zum Theil wieder aufgehoben, weil man bei ihr der Unbeständigkeit und allen Launen des Windes vollständig Preis gegeben ist. Auf die Richtung und Stärke des Windes ist kein Einfluß möglich, und der Schiffer muß es nicht nur geduldig ertragen, daß die Segel oft Tage lang schlaff an den Masten herunter hängen und das Schiff nicht von der Stelle kommt, er kann auch Nichts dagegen thun, wenn Stürme ihn weit von seinem eigentlichen Wege verschlagen. Die Kraft des Windes ist zwar umsonst zu haben, aber der Mensch ist nicht Herr über dieselbe. Deßhalb kam auch das in seiner Anwendung zwar viel kostspieligere, aber dem menschlichen Willen gehorchende Ruder schon sehr frühe in Gebrauch. In alten egyptischen Gräbern sind Modelle von Schiffen gefunden worden, an deren Seiten lange, durch Menschen bewegte Ruder angebracht sind. Mehrere solcher Modelle befinden sich in der egyptischen Abtheilung des neuen berliner Museums. Im Alterthume, sowie im Mittelalter wurden besonders zu Kriegszwecken große, mit mehreren Hundert Rudern bemannte Schiffe gebaut, die sogenannten Galeeren. Aber nicht nur die gewöhnlichen Ruder, sondern auch die Ruder- oder Schaufelräder, wie sie die meisten heutigen Dampfschiffe haben, sind eine sehr alte Erfindung, von der Vitruv bereits sagt, daß der Name des Erfinders zu seiner Zeit nicht mehr bekannt gewesen sei. Der Professor Pancirolle von Padua spricht im Jahre 1587 davon, daß er römische Münzen gesehen habe, auf denen Kriegsschiffe dargestellt seien, die an jeder Seite drei, durch Ochsen in Bewegung gesetzte Ruderräder hätten. Solcher Schiffe sollen sich die Römer während des ersten punischen Krieges bei ihrer Ueberfahrt nach Sicilien bedient haben. In den Jahren 1687 — 1693 machte ein französischer Mechaniker Duguet in Marseille und Havre Versuche mit einem Boote mit Schaufelrädern. Ein solches besaß zu derselben Zeit der Pfalzgraf Ruprecht in London, wo Papin dasselbe sah; die Schaufelräder wurden durch Pferde in Bewegung gesetzt, und es ließ dasselbe das Boot des Königs weit zurück, obgleich dieses mit sechszehn Ruderern bemannt war.

Sowohl die gewöhnlichen Ruder wie die Ruderräder sind demnach von sehr alter Erfindung; aber lange fehlte es an einer geeigneten Kraft, um dieselben in Bewegung zu setzen, und sich ihre Vortheile in ihrem ganzen Umfange zu Nutze zu machen. Die Kraft des Windes ist hierzu natürlich nicht tauglich, indem sie, wenn sie überhaupt vorhanden ist, besser durch Segel zu Gute gemacht werden kann. Menschen- und Thierkräfte sind außerordentlich kostspielig, und hinsichtlich der Größe auch nur in ziemlich engen Grenzen anwendbar. Die zur Bewegung einer Galeere erforderlichen Ruderer nahmen einen großen Theil des Schiffraumes in Anspruch. Es ist daher leicht begreiflich, daß bei der Erfindung der Dampfmaschine auch gleich schon der Gedanke auftauchte, die neue Triebkraft zur Fortbewegung der Schiffe zu benutzen.

In dem Aufsatze, den Papin im Jahre 1690 in den Acta eruditorum erscheinen ließ, und in welchem er die Idee zur atmosphärischen Maschine mittheilt, hebt er besonders hervor, daß letztere gebraucht werden könne, um Schiffe gegen den Wind zu bewegen. Nachdem er die Nachtheile aufgezählt hat, welche man bei der Benutzung von Ruderern erleidet, geht er Papin.

etwas näher auf einen Vorschlag ein, wie man mit seiner Maschine Schaufelräder umtreiben könne. Papin hat aber nicht blos, wie man lange Zeit glaubte, den ersten Vorschlag zur Anwendung der Dampfkraft auf die Schifffahrt gemacht; er hat auch selbst die praktische Verwirklichung seines Vorschlages versucht. Diese interessante Thatsache erhellt auf das deutlichste aus mehreren Briefen, die sich unter den in Hannover aufbewahrten Manuscripten von Leipnitz gefunden haben. Im Jahre 1707 hatte Papin den Bau eines Bootes beendet, welches mit Ruderrädern und einer diese umtreibenden Dampfmaschine versehen war. Er wollte sein Boot, indem er damit zunächst die Fulda und Weser hinabfuhr, nach London bringen, um vor seinen dortigen Freunden Versuche damit anzustellen. Die kleine Stadt Münden, welche an der Stelle liegt, wo die Fulda und Werra sich zur Weser vereinigen, besaß in damaliger Zeit das Stapelrecht, und in Folge dessen durfte kein Schiff aus der Fulda in die Weser einlaufen. Um sich nun für sein Boot eine Erlaubniß hierzu zu verschaffen, schrieb Papin am 7. Juli 1707 an Leipnitz, und bat ihn, ihm durch seinen Einfluß jene Erlaubniß vom churfürstlich Hannöverschen Ministerium zu verschaffen. Dieses war aber hierzu nicht zu bewegen, und nachdem noch einige Briefe zwischen Leipnitz und Papin gewechselt worden waren, erklärte der Letztere am 15. September, daß er der schon sehr vorgerückten Jahreszeit wegen nicht länger auf die erbetene Erlaubniß warten könne, und auch ohne dieselbe in den nächsten Tagen seine Reise antreten werde. Er that dies denn auch am 27. September 1707 und fuhr mit seinem Boote glücklich die Fulda hinunter bis Münden. Hier scheiterten jedoch alle seine Versuche zur Fortsetzung der Fahrt, und der Conflict, in den er dieserhalb mit den dortigen Schiffern gerieth, endete damit, daß dieselben das Dampfboot gänzlich zertrümmerten. Papin kehrte traurig nach Cassel zurück; eine lang genährte, schöne Hoffnung war ihm durch rohe Gewalt plötzlich vernichtet worden, und es war dieser Schlag um so schwerer für ihn, da er keinen neuen Versuch machen konnte, indem schon jener erste alle seine Mittel gänzlich erschöpft hatte. Ob die von ihm benutzte Maschine eine atmosphärische oder ob es die von ihm veränderte Savery'sche Maschine war, läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln; einzelne Umstände machen das Letztere wahrscheinlich.

Nachdem die Newcomen'sche Maschine in England einige Verbreitung gefunden hatte, machte auch schon ein dortiger Mechaniker, Jonathan Hulls, in einer (1737) in London erschienenen Schrift den Vorschlag, jene Maschine zur Construction eines Dampfbootes zu benutzen, um mit denselben Schiffe in und aus den Häfen zu bugsiren. Er wollte zu diesem Zwecke am Hinterende des Schiffes ein großes Schaufelrad anbringen, dessen Drehung die atmosphärische Maschine mittelst eines complicirten Mechanismus bewirken sollte. Hull's Vorschlag fand jedoch keinen Beifall und kam nicht zur Ausführung.

Der berühmte Marschall von Sachsen, der Sohn August's des Starken und der schönen Gräfin Aurora von Königsmark, überreichte im Jahre 1732 der französischen Akademie der Wissenschaften eine Denkschrift über die Construction eines mit Schaufelrädern versehenen Schleppbootes, bei dem die bewegende Kraft durch vier Pferde erzeugt wurde. Dieser Aufsatz wurde mit die Veranlassung, daß die Pariser Akademie im Jahre 1753 eine Preisfrage stellte nach den besten Mitteln, durch welche bei der Schifffahrt die Wirkung des Windes unterstützt werden könne. Den Preis erhielt eine

Abhandlung von Daniel Bernouilli, in welcher dieser große Gelehrte unter anderem auch nachwies, daß die damals allein bekannte Dampfmaschine, die Newcomen'sche, ebensowenig wie die Pulvermaschine für die Schifffahrt von Nutzen werden könne. Anderer Ansicht hierüber war ein Mitbewerber um jenen Preis, der Chorherr Gautier in Nancy. Er wollte eine Anzahl gewöhnlicher Ruder durch eine atmosphärische Maschine in Bewegung setzen lassen; der hierzu von ihm vorgeschlagene Mechanismus ist indeß sehr mangelhaft. Gautier's Plan hatte dasselbe Schicksal, wie der von Hulls, was auch durchaus nicht befremden kann, da die Newcomen'sche Maschine für die Aufgabe, welche diese Männer ihr zumutheten, noch viel zu unvollkommen war.

Marquis Jouffroy.

Wenn auch die von der Akademie gestellte Preisfrage keine unmittelbaren Resultate für die Schifffahrt gehabt hatte, so war doch die allgemeine Aufmerksamkeit durch sie auf den von ihr berührten Gegenstand hingelenkt worden. Wohl auch in Folge dieser Anregung hatte ein junger Edelmann aus der Franche-Comté, der Marquis Claude Jouffroy, während zweier Jahre, die er wegen eines Ehrenhandels als Verbannter in der Provence verleben mußte, die Materialien zu einem Werke über Ruder-Galeeren gesammelt. Auch ihm war dabei der Gedanke gekommen, daß zur Bewegung der Ruder die Dampfkraft wohl sehr geeignet sein möchte. Und diesen Gedanken hatte er mit solcher Lebhaftigkeit erfaßt, daß, als er gegen Ende des Jahres 1775 aus seiner Verbannung nach Paris zurückkehrte, er nichts Eiligeres zu thun hatte, als Erkundigungen über die ihm noch ziemlich unbekannte Dampfmaschine einzuziehen. Seitdem zwanzig Jahre vorher Gautier seine bekannten Vorschläge veröffentlicht hatte, hatte die Dampfmaschine einen bedeutenden Schritt vorwärts gethan: die einfach wirkende Maschine war von Watt erfunden worden. Die Nachahmung einer solchen, die Maschine von Chaillot, war von den Brüdern Perrier eben in der Nähe von Paris aufgestellt worden, als Jouffroy dort ankam. Ein genaues Studium dieser Maschine befestigte seine Ansichten von der Ausführbarkeit eines Dampfschiffes. In Paris traf Jouffroy mit zweien seiner Landsleute zusammen, dem Grafen Auxiron und dem Marquis Ducrest; beide waren, wie er selbst, Officiere und zugleich thätige Freunde der strengen Wissenschaften. Bald hatte er sie für seine Pläne interessirt und gewonnen, und es dauerte nicht lange, so wußte ganz Paris um das Vorhaben des jungen Edelmannes aus der Franche-Comté. Auch war er so glücklich, eine Gesellschaft zu vereinigen, welche die nöthigen Versuche auf ihre Kosten wollte ausführen lassen. Der Versammlung, in welcher über den Bau des ersten Bootes berathen wurde, wohnte auch Constantin Perrier bei, der zu jener Zeit einer der ersten Industriellen von Paris war. Dieser setzte dem von Jouffroy ausgegangenen Vorschlag einen anderen entgegen, der besonders darin fehlerhaft war, daß die Kraft der Maschine viel zu geringe angenommen war. Da sich jedoch für diesen Vorschlag eben so viele Stimmen aussprachen, wie für den von Jouffroy, so mußte dieser das Feld seinem Gegner, einer anerkannten Autorität auf dem Gebiete der Mechanik, überlassen. Die unterlegene Partei gab indeß ihre Ansichten nicht auf, und der Graf Auxiron, der um diese Zeit starb, schrieb noch von seinem Todbette an Jouffroy: „Nur Muth, mein Freund, Sie allein haben Recht." Die Befürchtungen, welche das Perrier'sche Project von Anfang an erregt hatte, wurden durch den ersten betreffenden Versuch nur zu sehr bestätigt. Eine einfach wirkende

Watt'sche Maschine, deren Cylinder einen Durchmesser von nur 8 Zoll hatte, war kaum im Stande, das kleine Boot die schwache Strömung der Seine überwinden zu machen. In Folge dieses ungünstigen Resultates löste sich die Gesellschaft, auf deren Kosten der Versuch gemacht worden war, wieder auf.

Jouffroy zog sich hierauf wieder in seine Provinz zurück. Trotz der bitteren Erfahrungen, die er gemacht hatte, war er durchaus nicht entmuthigt, sondern voll Vertrauen auf die Tüchtigkeit seines Planes, und fest entschlossen, bei Ausführung desselben nunmehr bloß seinen eigenen Ideen zu folgen. Zur Anstellung weiterer Versuche wählte er sich die kleine Stadt Baume-les-Dames aus, die zwischen Besançon und Mömpelgard auf dem rechten Ufer des Doubs liegt. Das Boot, welches er hier machen ließ, hatte eine Länge von 40 und eine Breite von 6 Fuß. Der Treibapparat des Bootes bestand aus zwei Rudern von einer besonderen Einrichtung, welche im Jahre 1759 ein Berner Geistlicher angegeben hatte. An dem äußeren Ende jedes Ruders waren nämlich zwei, achtzehn Zoll ins Wasser tauchende Flügel angebracht, die sich dicht zusammen legten und also nur mit einer geringen Fläche durchs Wasser schnitten, wenn das äußere Ruderende in der Richtung des Schifflaufes bewegt wurde. Bei der entgegengesetzten Bewegung des Ruders aber öffneten sich die beiden Flügel und drückten dann mit ihrer ganzen Fläche gegen das Wasser. Die Wirkung dieser Ruder ist eine ähnliche wie die der Füße bei den Schwimmvögeln; sie bleiben auch fortwährend unter Wasser getaucht. Auf jeder Seite des Bootes befand sich ein solches Ruder; dasselbe ragte 8 Fuß über den Bootsrand hinaus und das äußere Ende beschrieb einen Bogen von drei Fuß Sehne. Die inneren Enden der beiden Ruder waren an einer Kette befestigt, die, nachdem sie über einige feste Rollen geführt war, mit der Kolbenstange einer einfach wirkenden Watt'schen Maschine verbunden war. Während der Kolben im Dampfcylinder leer aufwärts ging, wurden die äußeren Enden der Ruder durch Gegengewichte nach dem vorderen Bootsende gezogen, wobei die Flügel sich zusammenklappten. Ging darauf der Kolben durch den Dampfdruck nieder, so zog er die Ruder mit ausgebreiteten Flügeln dem Lauf des Schiffes entgegen, und bewirkte so ein Vorwärtsgehen desselben.

Es gehörte einiger Muth dazu, sich an einem so abgelegenen Orte mit mechanischen Construktionen zu beschäftigen, wie denn auch die Mittel zu deren Ausführung sehr beschränkte waren. Der Dampfcylinder war z. B. bloß von einem gewöhnlichen Kupferschmied mit dem Hammer aus Kupfer getrieben, und durch umgelegte eiserne Reifen verstärkt. Jouffroy überwandt jedoch glücklich alle diese Schwierigkeiten, und sein Boot fuhr während der Monate Juni und Juli des Jahres 1776 auf dem Doubs auf und ab. Hierbei zeigte sich indeß auch bald ein Uebelstand, welcher von der Einrichtung der Ruder herrührte. Die Flügel sollten sich nämlich bloß in Folge des Widerstandes öffnen, welchen sie bei ihrer Bewegung im Wasser fänden. Dies Oeffnen fand aber häufig nicht statt, wenn das Boot einmal eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hatte, besonders beim Hinauffahren des Flusses. Obgleich diesem Uebelstande durch einen einfachen Mechanismus leicht hätte abgeholfen werden können, so wurde er doch die Veranlassung, daß Jouffroy die Ruder ganz verwarf und sich für die Anwendung von Schaufelrädern entschied. Von dem Standpunkte des Marquis aus ist dieser Entschluß nicht ganz zu billigen. Denn ihm stand blos die einfach wirkende Dampfmaschine zur Verfügung, indem die doppelt wirkende erst später erfunden

wurde; mit jener Maschine lassen sich aber Ruder, die ebenfalls nur eine periodisch unterbrochene Wirkung äußern, weit einfacher und natürlicher in Bewegung setzen, als Schaufelräder, deren continuirliche Wirkung auch eine stetige Kraft erfordert.

Nach längeren Vorbereitungen begann Jouffroy im Jahre 1780 in Lyon den Bau eines größeren Dampfschiffes von 145 Fuß Länge und 16 Fuß Breite. Das Schiff hatte einen Tiefgang von 3 Fuß, die Ruderräder einen Durchmesser von 14 Fuß, und Schaufeln von 6 Fuß Breite, welche 2 Fuß tief in das Wasser eintauchten. Die Dampfmaschine war ebenfalls in Lyon gemacht, und hatte zwei neben einander stehende, einfach wirkende Cylinder. Die Bewegung der Kolben übertrug Jouffroy nach dem Vorschlage von Papin mittelst Zahnstangen auf die Welle, auf welcher die Ruderräder saßen. Im Sommer des Jahres 1783 machte der Marquis mit seinem Schiffe die ersten Probefahrten, welche sehr befriedigend ausfielen. Zu einem Hauptversuche am 15. Juli 1783 lud er die Mitglieder der Akademie von Lyon ein, und fuhr dann in Gegenwart von wenigstens zehn Tausend Zuschauern, die das ganze Ufer bedeckten, die Saone hinauf. Zur Beglaubigung dieser Fahrt wurde darüber von den Notaren Devilliers und Barond ein förmlicher Akt aufgenommen.

Jouffroy bemühte sich nun, auf dem Doubs einen regelmäßigen Verkehr mittelst Dampfschiffen einzurichten. Man sollte glauben, daß ihm die Erreichung dieses Zieles nach jenem glänzenden Erfolge hätte leicht werden müssen. Dem war aber nicht so; kleinlichem Neide gelang es, seine Erfindung anzuzweifeln und hierdurch seine Wirksamkeit zu lähmen. Das Schiff, womit Jouffroy seine Versuche gemacht hatte, war zu schwach gebaut, und hatte in Folge dessen schon zu viel gelitten, um es zu täglichen Fahrten benutzen zu können. Es mußte daher zunächst ein neues Boot gebaut werden; ehe aber die von Jouffroy gebildete Gesellschaft dies unternehmen wollte, verlangte sie im Besitze eines sie schützenden dreißigjährigen Privilegiums zu sein. Ein solches konnte nur der König bewilligen, und der Erfinder wandte sich daher mit seinem Gesuche an den damaligen Finanzminister, den Herrn von Calonne. Dieser hielt es für nothwendig, zuerst in Betreff der Neuheit der Erfindung ein Gutachten der französischen Akademie einzuholen. Die Akademie begnügte sich aber nicht damit, einfach dem Wunsche des Ministers zu genügen, sondern sie maßte sich auch an, den Werth der Jouffroy'schen Erfindung zu beurtheilen. Und zwar beauftragte sie Borda und Perrier mit einer Untersuchung des in Lyon befindlichen Dampfschiffes. So war denn Perrier aus einem Nebenbuhler ein beurtheilender Richter geworden. Unter solchen Verhältnissen kann es nicht überraschen, daß die Akademie bei dem Minister beantragte, Jouffroy solle, bevor ihm ein Privilegium bewilligt werde, seine Versuche vor den Abgeordneten der Akademie mit einem Schiffe von 300 Tonnen auf der Seine wiederholen. Herr von Calonne machte dies Verlangen der Akademie zu seinem eigenen und theilte dies dem Marquis in einem Briefe vom 31. Januar 1784 mit. Jouffroy sah nun wohl, daß er alle Hoffnung aufgeben müsse, da er zur Anstellung des geforderten neuen Versuches keine Mittel mehr besaß. Zu allem Bitteren, was er bereits erfahren hatte, gesellte sich auch noch der Spott des Hofes und seiner Standesgenossen, die es in thörigtem Dünkel eines Edelmannes unwürdig hielten, sich mit großen und nützlichen Erfindungen zu beschäftigen. Die Revolution, unter deren Sturm bald darauf in Frankreich alles Alte

zusammenbrach, setzte auch den Bestrebungen Jouffroy's ein Ziel. Als treuer Anhänger des Königthums kehrte er schon im Jahre 1790 seinem Vaterlande den Rücken. Während einer fünfundzwanzigjährigen freiwilligen Verbannung war es sein einziges Bestreben, das Lilienbanner in seiner Heimath wieder zur Herrschaft zu bringen.

Es war ein eigenthümliches Geschick, daß die Arbeiten Jouffroy's gerade dann unterbrochen wurden, als Watt kurz vorher die doppelt wirkende Maschine erfunden hatte, durch deren Anwendung der Marquis sein Ziel wohl vollständig erreicht haben würde. So aber kam es, daß der Ruhm der Erfindung der Dampfschifffahrt Frankreich nicht zu Theil wurde. Nicht besser ging es hierin seinem großen Nebenbuhler England. Die Aufgabe, die Frankreich nicht zur Lösung gebracht hatte, wurde von seinen siegreichen Bundesgenossen, den Nordamerikanern, mit frischem Muthe wieder aufgenommen, und nach vielen und langjährigen Mühen auch glücklich zu Ende geführt. Nach achtjährigem Kriege hatten sich die amerikanischen Provinzen ihre Freiheit von England errungen, und der Friedensschluß vom 5. September 1783 führte sie in die Reihe der selbstständigen Staaten ein. Das Gebiet der jungen Republik war damals noch sehr dünn bevölkert und nur schwach angebaut. Dabei lagen die einzelnen Niederlassungen sehr zerstreut, und waren nur sehr mangelhaft durch Straßen unter einander verbunden. Wohl aber ist das Land von zahlreichen schiffbaren Flüssen und Strömen durchschnitten, die für den inneren Verkehr von der größten Wichtigkeit sind. Mit den älteren Mitteln der Schifffahrt war aber auf diesen Flüssen nicht viel auszurichten. Die Ufer der meisten waren mit so dichtem Walde bedeckt, daß der Wind nur selten zum Segeln gebraucht werden konnte; ein Leinpfad war fast nirgend vorhanden, und die an vielen Stellen vorkommenden starken Strömungen waren mit Hülfe des gewöhnlichen Ruders kaum zu überwinden. Hätte Europa auch noch länger des Dampfschiffes entbehren können, Amerika mußte dasselbe erfinden, wenn das Land diejenigen Fortschritte machen sollte, wozu es durch seine reichen Hülfsmittel so sehr befähigt war.

Fitch. Die doppeltwirkende Dampfmaschine war in England kaum erfunden, als auch schon im Jahre 1784 zwei amerikanische Construkteure dem Präsidenten Washington Vorschläge einreichten, wie jene Maschine für die Schifffahrt verwandt werden könne. Der eine derselben, Fitch, wandte einfache, vertikal gestellte Ruder an. Die Dampfmaschine, welche dieselben bewegte, war aber zu schwach und vermochte dem Boote nur eine geringe Geschwindigkeit zu ertheilen. Im Jahre 1787 baute er zwar ein größeres Boot, welches auch einige Fahrten auf dem Delaware machte; aber häufige Reparaturen an dem Mechanismus, und besonders der Umstand, daß die Theilnehmer keinen Erfolg des Unternehmens voraussahen, wurden die Veranlassung zum Aufgeben desselben. Fitch wandte sich (1791) nach Frankreich, wo er in Verbindung mit dem amerikanischen Consul in Lorient trat, um hier seine Pläne zur Ausführung zu bringen. Die Regierung schien anfänglich geneigt zu sein, ihn hierbei zu unterstützen, aber das aus den Fugen gehende Staatsschiff lenkte ihre Aufmerksamkeit bald auf andere Dinge hin.

Rumsey. Der zweite Vorschlag, welcher Washington vorgelegt wurde, ging von Rumsey aus. Dieser wollte die Fortbewegung des Schiffes dadurch bewirken, daß er durch eine Pumpe am vorderen Ende des Schiffes Wasser aufsaugen, und dasselbe am hinteren Ende wieder herauspressen ließ. Auf

dieses Mittel hatte bereits Daniel Bernouilli aufmerksam gemacht, und Franklin rieth Rumsey an, einen Versuch damit zu machen. Die Bewegung der Pumpe geschah durch eine Dampfmaschine. In neuester Zeit hat der Herr Schiffbaumeister Seidel in Stettin bei einem Boote einen Versuch mit einem ähnlichen, auf das Hinaustreiben von Wasser gegründeten Treibapparat gemacht, dessen Erfolg ziemlich befriedigend war. Rumsey, der nur eine sehr langsame Bewegung seines Schiffes erzielte, ließ seinen ersten Plan bald fallen, um den sonderbaren Versuch zu machen, ein Boot durch lange Stangen, die sich gegen das Flußbette anstemmten, gleichsam fortzuschieben. Die Stangen selbst wurden durch Kurbeln bewegt, die auf der Schwungradwelle der Dampfmaschine befestigt waren. Da Rumsey in Amerika nicht die erwartete Aufmunterung und Theilnahme fand, ging er im Jahre 1789 nach London. Hier wurde ihm und seinem Projekte eine günstige Aufnahme, sowie auch die nöthige Unterstützung zu Theil; er baute einige Boote, welche dann auf der Themse versucht wurden. Die Erfolge waren aber nicht sehr befriedigend, und der Tod ereilte Rumsey, ehe es ihm gelungen war, das Problem einer Dampfschifffahrt zu lösen.

Mehr als durch seine eigenen Versuche trug Rumsey zur Erfindung des Dampfschiffes dadurch bei, daß er auf diese große Aufgabe die Aufmerksamkeit seines Landsmannes Robert Fulton hinlenkte, dem es anderthalb Jahrzehnte später gelang, die Dampfschifffahrt wirklich ins Leben zu rufen. Fulton wurde im Jahre 1765 in Little-Britain im Staate Pensylvanien geboren. Seine Eltern waren arme irländische Auswanderer. Durch den frühen Tod seines Vaters lernte er in einer Dorfschule nur nothwendig lesen und schreiben, und wurde, noch sehr jung, zu einem Goldschmied in Philadelphia in die Lehre geschickt. Neben dieser Beschäftigung versäumte er es aber auch nicht, seine bedeutenden Anlagen für Zeichnen, Malen und für praktische Mechanik mit Eifer auszubilden. Schon ehe er siebenzehn Jahre alt war, verschaffte sein Pinsel ihm manche Einnahme. Er zog von Wirthshaus zu Wirthshaus, um seine Bilder zu verkaufen und Portraits zu malen, bis er sich schließlich in Philadelphia als Maler niederließ. Nachdem er sich in dieser Stellung eine kleine Summe erworben hatte, verwandte er dieselbe dazu, seiner Mutter in der Grafschaft Washington eine Farm zu kaufen. Auf der Rückreise nach Philadelphia lernte er einige Männer von Bedeutung kennen, unter anderen auch einen Herrn Scorbitt. Dieser war überrascht von dem Talente, welches Fulton für die Malerei besaß, und rieth ihm nach London zu gehen, wo ihr Landsmann Benjamin West sich als Maler eines bedeutenden Rufes erfreute, und gewiß gerne bereit sein würde, seinen jungen Genossen mit Rath und That zu unterstützen. Die gleiche Ansicht hatte Franklin schon früher gegen Fulton geäußert, und dieser trat denn auch (1786) von New-York aus die Reise nach London an, wozu ihm Herr Scorbitt die nöthigen Mittel verschafft hatte. Fulton.

Bei West fand Fulton die freundlichste Aufnahme; da er aber bald daran verzweifelte, es in seiner Kunst bis zu wahrer Meisterschaft zu bringen, so warf er den Pinsel weg und folgte ganz seiner Neigung zur Mechanik. Nach einem kürzeren Aufenthalte in Exeter verlebte Fulton zwei Jahre in Birmingham, um sich in diesem Mittelpunkte der Industrie mit gewerblichen Verhältnissen genau bekannt zu machen. Im Jahre 1789 kehrte er mit der Absicht, von seinen erworbenen Kenntnissen Nutzen zu ziehen, wieder nach London zurück. Hier war es, wo er zufällig mit Rumsey

zusammentraf. Diesem wurde es nicht schwer, seinen Landsmann von der großen Wichtigkeit der Dampfschifffahrt für ihr gemeinsames Vaterland zu überzeugen. Fulton ging nun gleich daran, die Fehler in der von Rumsey getroffenen mechanischen Anordnung zu beseitigen, indem er ihn zugleich für die Anwendung von Schaufelrädern zu gewinnen suchte, welche er damals für den geeignetsten Treibapparat für Dampfschiffe hielt. Ihre gemeinschaftlichen Pläne waren noch nicht zur Ausführung gekommen, als Rumsey's Tod denselben ein Ziel setzte. Der Graf von Stanhope, ein leidenschaftlicher Freund der praktischen Mechanik, beschäftigte sich um diese Zeit ebenfalls mit einigen Versuchen in Betreff der Dampfschifffahrt. Er hatte ein Boot bauen lassen, welches mit einer ziemlich starken Dampfmaschine versehen war. Als Treibapparat waren ähnlich construirte Ruder angebracht, wie die, deren sich der Marquis Jouffroy bei seinem ersten Versuche bediente. Fulton, der hiervon hörte, schrieb an Stanhope und suchte ihn zu veranlassen, statt jener Ruder Schaufelräder zu benutzen; zugleich bot er zur Ausführung dieses Vorschlages dem Lord seine Dienste an. Leider fand sein Rath keinen Anklang; die Verwirklichung der Dampfschifffahrt wurde hierdurch noch für eine Reihe von Jahren hinausgeschoben.

So kam es denn auch, daß Fulton während mehrerer Jahre die Erfindung des Dampfschiffes fast ganz aus den Augen verlor. Doch beschäftigte er sich unausgesetzt mit gewerblichen Verhältnissen, und sein an neuen Erfindungen sehr fruchtbarer Geist versuchte sich an den verschiedensten Gegenständen. Er erfand eine Grabmaschine, eine Maschine zum Sägen und Poliren des Marmors, construirte eine Maschine zum Spinnen von Hanf und Flachs, und eine andere zur Fabrikation von Seilen und Schnüren. Besonderen Werth legte er aber auf einen Plan zu einer neuen Art von Kanälen, den er (1794) auch der englischen Regierung mittheilte. Da er aber weder bei dieser, noch bei Privatgesellschaften Theilnahme für sein Projekt fand, so entschloß er sich (1796) nach Paris zu gehen. Hier fanden seine Vorschläge aber noch weniger Gehör, worauf er dieselben gänzlich fallen ließ, und sich einem anderen Gegenstand zuwandte.

Am Ende des vorigen Jahrhunderts besaß England die unbestrittene Oberherrschaft auf allen Meeren, und machte von derselben einen für alle übrigen Nationen sehr fühlbaren und belästigenden Gebrauch. Während der Kriege mit Frankreich durchsuchten englische Kriegsschiffe alle ihnen begegnenden Fahrzeuge nach verbotenen oder dem Feinde gehörenden Waaren, unbekümmert um die Flagge, unter welcher dieselben fahren mochten. Der Handel litt durch diese Belästigungen natürlich sehr, und in Folge derselben hatte besonders Nordamerika, ohne selbst am Kriege betheiligt zu sein, die Nachtheile desselben mit zu erdulden. In Fulton erregte dies den leidenschaftlichen Wunsch, sein Vaterland von dem, seinen kräftigen Aufschwung hemmenden, durch die englische Flotte ausgeübten Druck zu befreien. Er glaubte Mittel ausfindig machen zu können, durch welche es möglich wäre, die brittische Seeherrschaft zu brechen. Und zwar wollte er dies durch die Erfindung von neuen Angriffwaffen erreichen, denen auch das größte Kriegsschiff rettungslos zum Opfer fallen müsse. Die Mittel, die Fulton zu diesem Zwecke ersann, bestanden in einem unterseeischen Boote und in einem eigenthümlichen Geschosse, welches mittelst jenes Bootes unter dem feindlichen Schiffe befestigt werden, und dasselbe nach kurzer Zeit in die Luft sprengen sollte. Als seine Mittel zur Anstellung der nöthigen Versuche erschöpft waren,

wandte er sich wegen Unterstützung derselben an das Directorium. Dieses ertheilte ihm aber nach langen Verhandlungen schließlich ein abschlägige Antwort, indem es seine Vorschläge für unpractisch erklärte. Nicht besser erging es ihm, als er sich hierauf mit dem gleichen Gesuche an die Batavische Republik wandte. Seit dem Anfang seines Aufenthaltes in Paris wohnte Fulton bei seinem Landsmann, dem amerikanischen Diplomaten Barlow. Dieser, zugleich ein großer Kunstfreund, wollte in Paris ein Panorama aufstellen, wie es kurz vorher der Maler Robert Barker in Edinburg erfunden hatte. Um sich neue Mittel zu verschaffen, griff Fulton wieder zum Pinsel und übernahm die Ausführung des von Barlow gewünschten Bildes. Kurze Zeit nach Vollendung desselben wurde Napoleon Consul auf Lebenszeit. Auf die erneute Bitte Fulton's bewilligte derselbe einige Geldmittel, und ernannte auch eine aus Volney, Monge und Laplace bestehende Commission zur Prüfung des Projectes eines unterseeischen Angriffs. Fulton baute nun ein größeres unterseeisches Boot und machte mit demselben während des Sommers 1801 Versuche in den Häfen von Havre und Brest. Am 17. August blieb er z. B. mit seinem Boote vier Stunden unter Wasser, und legte während derselben einen Weg von fünf Stunden zurück. Auch gelang es ihm, eine auf der Rhede von Brest vor Anker liegende Schaluppe in die Luft zu sprengen. Sein Bemühen, das gleiche Schicksal einem der englischen Kriegsschiffe zu bereiten, die häufig an der französischen Küste kreuzten, hatte indeß keinen Erfolg. Da Napoleon bedeutendere Resultate erwartet hatte, so erkaltete nach und nach sein Interesse für die Erfindung des Amerikaners, bis er diese zuletzt für unausführbar erklärte und ihr seine fernere Unterstützung versagte.

Als Fulton sah, daß er in Frankreich für die von ihm mit so großem Eifer und so vielen Opfern verfolgten Pläne Nichts mehr zu hoffen habe, beschloß er, wieder in sein Vaterland zurückzukehren. Schon war er mit den Vorbereitungen zur Abreise beschäftigt, als er eine Bekanntschaft machte, die für ihn und für die Erfindung des Dampfschiffes von großer Bedeutung wurde. Er traf nämlich mit dem erst kurze Zeit in Paris befindlichen amerikanischen Gesandten Livingston zusammen. Robert Livingston war fünf und zwanzig Jahre lang Kanzler des Staates New-York gewesen, und jetzt nach Paris gekommen, um im Namen der vereinigten Staaten mit Frankreich einen Vertrag über die Abtretung von Louisiana abzuschließen. In seiner früheren Stellung hatte er sich aber nicht nur mit den Staatsgeschäften befaßt, sondern auch für gewerbliche Unternehmungen stets ein reges Interesse bekundet. So hatte er schon im Jahre 1797 durch zwei Ingenieure Nisbett und Brunel, wovon der letztere später der berühmte Erbauer des Themsetunnels wurde, einige Modelle von Dampfbooten bauen lassen, und mit denselben auf dem Hudson Versuche angestellt; es wurden dabei besonders die verschiedenen, bis zu jener Zeit vorgeschlagenen Treibapparate einer vergleichenden Prüfung unterworfen. Livingston war von der Ausführbarkeit der Dampfschifffahrt so sehr überzeugt, daß er bei der gesetzgebenden Versammlung des Staates New-York mit dem Gesuche einkam, man möge ihm die alleinige Berechtigung verleihen, die Gewässer dieses Staates mit Dampfschiffen zu befahren. Seiner Bitte wurde unter der Bedingung willfahrt, daß er binnen Jahresfrist ein Dampfschiff herstelle, welches in der Stunde $^2/_3$ geograph. Meilen zurücklege. Alle Anstrengungen aber, welche Livingston zur Erfüllung jener Bedingung machte, hatten nicht den gewünschten Erfolg, und das ihm ertheilte Privilegium trat daher auch vorläufig nicht in Kraft.

So lagen die Sachen, als er als Gesandter nach Paris ging. Hier traf er, wie schon oben bemerkt wurde, mit Fulton zusammen, und hatte kaum einige Beziehungen mit demselben angeknüpft, als er auch gleich erkannte, welche wesentlichen Dienste dieser bedeutende Ingenieur seinem zwar unterbrochenen, aber darum nicht aufgegebenen Unternehmen leisten könne. Und noch in den letzten Stunden vor seiner schon fest bestimmten Abreise, als Fulton erschien, um sich bei dem Gesandten seines Landes zu verabschieden, beredete ihn Livingston, seine Reise aufzuschieben und gemeinschaftlich mit ihm für die Begründung der Dampfschifffahrt zu wirken. Zu festerer Einigung schlossen darauf Beide einen Vertrag ab, nach welchem Fulton die Ausführung der anzustellenden Versuche übernehmen, und Livingston die dazu nöthigen Geldmittel hergeben sollte.

Als Fulton sich nun von Neuem der Aufgabe zuwandte, die ihn vor zehn Jahren schon einmal in England beschäftigt hatte, drängte sich ihm bald die Ueberzeugung auf, daß bei allen bisherigen Versuchen zur Construktion eines Dampfschiffes zu sehr ein bloß empirisches Tasten vorgewaltet habe. Er ging zunächst daran, die verschiedenen Treibapparate einer genaueren theoretischen Untersuchung zu unterziehen. In Folge derselben gelangte er zu der Ansicht, daß sowohl das von Rumsey angewandte Mittel — Erzeugung des Ausströmens von Wasser am Hinterende des Schiffes — als auch die mit Flügeln oder Klappen versehenen Ruder des Marquis Jouffroy nicht geeignet seien, um einem Schiffe die erforderliche Geschwindigkeit zu ertheilen. Den besten Erfolg versprach Fulton sich dagegen von einer um zwei Rollen geschlungenen Kette ohne Ende, an welcher in angemessenen Entfernungen Schaufeln angebracht sind. Da man von diesen eine beliebige Zahl kann gleichzeitig auf das Wasser wirken lassen, so schien ihm dieser Apparat eine kräftigere Wirkung äußern zu können, als gewöhnliche Schaufelräder. Durch Versuche wünschte er sich hiervon zu überzeugen; allein die Ufer der Seine waren dazu zu geräuschvoll, und er entschloß sich daher, Frau Barlow nach den Bädern von Plombières zu begleiten, um hier, auf dem kleinen Flüßchen Eaugronne, jene Versuche anzustellen. Dieselben fielen nicht sehr befriedigend aus. Als er im October 1802 wieder nach Paris zurückkehrte, fand er in der Sammlung des Conservatoire des arts et métiers das noch heute dort befindliche Modell eines Dampfbootes ausgestellt, welches mit einem ähnlichen Treibapparat versehen war, wie der, mit welchem er in Plombières Versuche gemacht hatte. Dieses Modell rührte von dem Uhrmacher Desblancs in Trévoux an der Saône her, und es war nach demselben ein größeres Boot gebaut und auf der Saône versucht worden. Da aber die hierbei erlangten Resultate sehr unvortheilhaft waren, so entsagte Fulton der Anwendung der mit Schaufeln besetzten endlosen Kette und kehrte definitiv zu den Ruderrädern zurück, zu denen er dem Grafen Stanhope schon im Jahre 1793 dringend gerathen hatte. Aus seinen theoretischen Untersuchungen erkannte Fulton ferner, daß man bisher immer zu schwache Dampfmaschinen angewandt habe, und war nun natürlich bemüht, diesen Fehler bei dem neu zu bauenden Boote zu vermeiden.

Nachdem im Winter von 1802 auf 1803 auf der Seine, bei der Schwaneninsel, noch einige vorbereitende Versuche gemacht worden waren, begann Fulton den Bau des Bootes, durch welches es sich entscheiden sollte, ob er der Mann sei, durch den das große Problem der Dampfschifffahrt gelöst werden würde. Im Anfange des Jahres 1803 war das Boot vollendet

und Alles zu einer Fahrt desselben bereit. Die Sorge um den Ausfall derselben ließ dem Erfinder keine Ruhe mehr zu Theil werden. Schlummerlos hatte er wieder eine Nacht zugebracht, als am Morgen einer seiner Arbeiter mit so verstörten Zügen in sein Zimmer trat, daß sie ihn gleich als einen Unglücksboten ankündigten. In der Nacht war das Schiff mitten durch gebrochen und untergesunken. Der Schiffskörper war für die darin aufgestellte Maschine nicht stark genug gewesen, so daß ein Windstoß, durch welchen das Wasser in heftige Bewegung gerathen war, zum Untergange des Schiffes hingereicht hatte. So sah denn Fulton plötzlich die Arbeit eines ganzen Jahres zerstört, und das so nahe geglaubte Ziel wieder weiter hinaus gerückt. Doch den Muth verlor er darum nicht. Er eilte gleich an den Ort des Unglücks und gönnte sich während vier und zwanzig Stunden weder Ruhe, noch Speise und Trank. Seinen Anstrengungen gelang es denn auch, wenigstens die Maschine zu retten. Es wurde nun ein neues, genügend starkes Schiff gebaut, von 105 Fuß Länge und 12 Fuß Breite, welches Ende Juni fertig war.

Probefahrt auf der Seine.

Der 9. August 1803 wurde als der Tag bestimmt, an welchem das Dampfschiff seine erste Probefahrt machen sollte. Zu dieser hatte Fulton am Tage vorher die Akademie der Wissenschaften eingeladen, welche denn auch Bougainville, Bossut, Carnot und Perrier dazu entsandte. Ueber diesen für die Dampfschifffahrt so wichtigen Versuch veröffentlichte damals ein Augenzeuge in einer technischen Zeitschrift folgenden, leider etwas unvollständigen Bericht.

„Am 21. Thermidor ist eine neue Erfindung erprobt worden, deren vollständiges und glänzendes Gelingen die nützlichsten Folgen für den Handel und die innere Schifffahrt Frankreichs haben wird. Seit zwei oder drei Monaten sah man am Fuße des Kais der Feuermaschine ein Boot von ganz sonderbarem Anschein, denn es war mit zwei großen Rädern versehen, welche, wie bei einem Wagen, auf einer Achse saßen; und hinter diesen Rädern befand sich eine Art von großem Kessel mit einem Rohre, welches für eine kleine Dampfmaschine gehalten wurde, die dazu bestimmt sei, die Räder und das Boot zu bewegen. Uebelwollende hatten vor einigen Wochen das Untersinken dieses Schiffes herbeigeführt. Nachdem aber der Erfinder den Schaden wieder ausgebessert hatte, erhielt er die schmeichelhafteste Anerkennung seiner Bemühungen und seines Talentes. Um 6 Uhr Abends setzte er, bloß von drei Personen unterstützt, sein Boot und zwei andere daran angehängte, in Bewegung, und verschaffte während anderthalb Stunden den Neugierigen das fremde Schauspiel eines Bootes, das wie ein Wagen durch Räder bewegt wurde, welche, besetzt mit Flügeln oder flachen Rudern, durch eine Dampfmaschine umgetrieben wurden. Indem ich es den Kai entlang begleitete, schien mir seine Geschwindigkeit beim Aufwärtsfahren der Seine der eines eiligen Fußgängers gleich zu sein, also etwa 2400 Toisen per Stunde zu betragen; beim Abwärtsfahren war sie bedeutend größer. Das Boot fuhr viermal auf und ab zwischen Bons-Hommes und der Pumpe von Chaillot, es drehte sich mit Leichtigkeit nach rechts und links, ging vor Anker, fuhr wieder ab und an der Nationalschule vorüber. Eines der Schiffchen nahm am Kai mehrere Gelehrte und Abgeordnete des Instituts auf, unter denen sich die Bürger Bossut, Carnot, Prony, Volney u. A. befanden. Ohne Zweifel werden dieselben einen Bericht abfassen, welcher dieser Erfindung die Bedeutung sichert, welche sie verdient, denn die Einführung der-

selben auf unseren Flüssen, der Seine, der Loire und der Rhone, würde die günstigsten Erfolge für unsere innere Schifffahrt haben. Die Züge von Booten, welche vier Monate gebrauchen, um von Nantes nach Paris zu kommen, würden pünktlich nach zehn bis vierzehn Tagen eintreffen. Diese glänzende Erfindung rührt von Herrn Fulton her, einem berühmten amerikanischen Ingenieur."

Bei der großen Menge erregte dieser Versuch trotzdem nur ein vorübergehendes Interesse. Ganz Frankreich war damals berauscht von den Siegen, die seine Heere allenthalben erfochten, und vor den Erfolgen derselben mußten neue Erfindungen, und wenn sie selbst die wichtigsten waren, in den Hintergrund treten.

Fulton und Livingston, die seit jenem gelungenen Versuche von der Ausführbarkeit ihrer Pläne fest überzeugt waren, gingen nunmehr daran, die Vortheile der neuen Erfindung ihrem Vaterlande zuzuwenden. Livingston berichtete die in Paris erzielten Resultate der gesetzgebenden Versammlung des Staates New-York, worauf diese das ihm früher ertheilte Privilegium gemeinschaftlich für ihn und Fulton auf zwanzig Jahre, vom Jahre 1803 anfangend, verlängerte. Diese Begünstigung wurde jedoch an die Bedingung geknüpft, daß die Betreffenden binnen zwei Jahren ein Dampfschiff herstellten, welches bei gewöhnlichem Wasserstande den Hudson mit einer Geschwindigkeit von $^6/_7$ geograph. Meilen hinauffahren könne. Sobald Livingston das nachgesuchte Patent erhalten hatte, bestellte er für das in Amerika zu bauende Dampfboot bei Watt und Boulton eine Dampfmaschine, für welche Fulton die Hauptabmessungen angab. Zugleich ging dieser selbst nach England hinüber, einmal um die Ausführung der Dampfmaschine zu überwachen, und dann auch, um mit der englischen Regierung über seine unterseeischen Angriffwaffen zu unterhandeln. Diesen Lieblingsplan verfolgte Fulton noch immer, ohne indessen jetzt mehr Glück damit zu machen, als früher. Livingston war unterdessen wieder nach Amerika zurückgekehrt, und trieb von hier aus Fulton an, seine Abreise von England zu beschleunigen. Diese erfolgte denn auch im Oktober 1806, und am 13. December landete Fulton in New-York. Fast gleichzeitig traf hier die in England bestellte Dampfmaschine ein.

Bau des Clermont.

Gleich nach seiner Ankunft begann Fulton auf den Werften von Carl Brown den Bau des neuen Schiffes, welches, nach einem Landsitze von Livingston, der Clermont genannt wurde. Während der Herstellung desselben hatte Fulton Vieles zu leiden von dem Mißtrauen seiner Landsleute gegen sein Unternehmen, ja selbst von lautem Spotte über dasselbe. Als die Herstellungskosten die anfänglich vorgesehene Summe bedeutend überstiegen, wollten die Unternehmer gegen eine entsprechende Betheiligung an denselben ein Drittel ihrer Rechte abtreten; es fand sich aber Niemand, der auf diesen Vorschlag eingehen mochte. Im August 1807 war der Clermont vollendet, und verließ am 10. die Werfte, um am folgenden Tage seine Probefahrt zu machen. Ueber dieselbe sagt Colden, der Freund und Biograph Fulton's, Folgendes: „Nichts kann das Erstaunen und die Bewunderung aller derjenigen übertreffen, welche Zeugen dieses Versuches waren. Selbst die Ungläubigsten änderten in wenigen Minuten ihre Ansicht, und waren gänzlich bekehrt, ehe das Boot noch eine viertel Meile zurück gelegt hatte. Die Züge derjenigen, welche bei dem Anblicke dieses kostspieligen Fahrzeuges dem Himmel gedankt hatten, daß sie klug genug gewesen seien, ihr Geld nicht zur Verfolgung eines so thörigten Projectes hergegeben zu haben,

veränderten sich in demselben Maße, als der Clermont sich vom Kai entfernte und seinen Lauf beschleunigte; ein beifälliges Lächeln wurde unmerklich durch einen lebhaften Ausdruck des Erstaunens verdrängt. Einige Menschen ohne alle Erziehung und ohne jedes Schicklichkeitsgefühl, die noch versuchten, einige plumpe Späße laut werden zu lassen, verfielen schließlich in stumme Kleinmüthigkeit, und der Triumph des Genies entlockte der Menge übermäßige Freudenrufe und Beifallsbezeugungen."

Nachdem an dem Schiffe noch einige Veränderungen vorgenommen waren, kündigten Livingston und Fulton an, daß ihr Dampfboot einen regelmäßigen Dienst zwischen New-York und Albany versehen, und am nächsten Tage nach letzterem Orte abgehen werde. Dieses Unternehmen erschien aber dem Publikum, trotz der kurz vorher vor aller Augen so glänzend ausgefallenen Probefahrt, so waghalsig und fand so wenig Vertrauen, daß sich zu der ersten Fahrt des Clermont auch nicht ein einziger Passagier einfand. Nichtsdestoweniger ging derselbe an dem bestimmten Tage, einem Montage, um ein Uhr Mittags, den Hudson hinauf, nach Albany ab. Nach einer ununterbrochenen Fahrt von vier und zwanzig Stunden langte das Boot an dem am Flusse liegenden Landsitze Clermont des Kanzlers Livingston an. Von hier am Mittwoch Morgen um neun Uhr wieder abfahrend, erreichte es Albany um fünf Uhr Nachmittags; die ganze Fahrzeit betrug also 32 Stunden. Und da Albany von New-York etwa 32 Meilen entfernt ist, so hatte das Dampfschiff stromaufwärts in der Stunde eine Meile zurückgelegt, wodurch denn die bei Verleihung des Privilegiums gestellte Bedingung erfüllt war. Bei der Rückfahrt des Clermont wagte es ein Einwohner von New-York, mit demselben nach Hause zurück zu kehren.

Erste regelmäßige Dampfschifffahrt.

Bei seinen ersten Fahrten verbreitete der Clermont, besonders während der Nacht, unter den Schiffern auf dem Hudson Furcht und Schrecken. Der Kessel wurde mit Tannenzweigen vom Ufer des Flusses geheizt, welche bei ihrer Verbrennung eine ungeheure Rauchwolke erzeugten, und zugleich veranlaßten, daß häufig eine mehrere Fuß hohe Flamme aus dem Kamine herausschlug. Daß dieses, verbunden mit dem Getöse der Maschine und dem Schlagen der Schaufelräder auf das Wasser, das Dampfschiff den ihm in stiller Nacht begegnenden Schiffern zu einer unheimlichen und sie ängstigenden Erscheinung machte, ist leicht begreiflich. Aber auch dann, als diese Eindrücke durch eine genauere Bekanntschaft mit dem neuen Fahrzeuge verbannt waren, hatte die Einrichtung eines regelmäßigen Dampfschiffdienstes auf dem Hudson noch mit manchen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Besitzer der Segelschiffe glaubten sich durch die neue Erfindung in ihrem Erwerbe bedroht, und suchten daher den Dampfschiffen alle möglichen Hindernisse zu bereiten; so versuchten sie z. B. auf diese zuzusegeln und sie in den Grund zu bohren. Die Regierung mußte endlich einschreiten und diesem Treiben durch Androhung strenger Strafen ein Ende machen. Trotz dieser Behinderungen nahm das Unternehmen von Livingston und Fulton bald einen erfreulichen Aufschwung. Am 11. Februar 1809 erhielt Fulton ein seine Erfindung schützendes Patent für den ganzen Umfang der Vereinigten Staaten. Während des Jahres 1811 baute er vier prächtige Boote, wovon das größte, ein Schiff von 526 Tonnen, den Namen Kanzler Livingston erhielt, und für den Dienst zwischen New-York und Albany bestimmt war. Zugleich baute er mehrere Boote für verschiedene Gesellschaften, denen er für einzelne Flüsse seine Rechte zur Betreibung der Dampfschifffahrt abgetreten hatte.

Tod Fulton's.

Auch Fulton hatte mit ähnlichen Unannehmlichkeiten zu kämpfen, wie Watt, indem auch er viele Eingriffe in die ihm ausschließlich bewilligten Rechte abzuwehren hatte. Als er eines Tages von Trenton, der Hauptstadt des Staates New-Jersey, wohin ihn ein solcher Rechtshandel geführt hatte, zurückkam, wurde er plötzlich von einer heftigen Kälte überrascht, wobei sein Boot zwischen dem den Fluß bedeckenden Eise stecken blieb, so daß er sich mehrere Stunden lang allen Einflüssen dieser rauhen Jahreszeit aussetzen mußte. Zugleich mußte er ungeheure Anstrengungen machen, um seinen Freund, den Advokaten Emmet, der das Unglück hatte, durch das Eis durchzubrechen, dem Tode zu entreißen. Durch alles dieses fiel er in ein heftiges Fieber, dem jedoch die Kunst der Aerzte noch einmal Meister wurde. Als sich Fulton aber, kaum genesen, einen ganzen Tag über im Freien aufhielt, um den Bau eines Schiffes zu beaufsichtigen, zog er sich einen Rückfall zu, dem er am 24. Februar 1815, erst fünfzig Jahre alt, erlag.

Der frühe Tod des großen Ingenieurs erregte in den ganzen Vereinigten Staaten die allgemeinste Trauer. Die Zeitungen, welche die Nachricht desselben brachten, erschienen mit schwarzem Rande. Die gesetzgebende Versammlung des Staates New-York, die gerade in Albany versammelt war, legte zu Ehren Fulton's auf dreißig Tage Trauer an. Seinem Sarge folgten sämmtliche Behörden von New-York, und während des Vorüberziehens des Leichenzuges löste die erste, eben fertig gewordene Dampffregatte ihre Kanonen. Und alle diese Beweise von Achtung und Anerkennung wurden Fulton nur wegen seiner Talente und seiner Verdienste zu Theil; ein öffentliches Amt hatte er niemals bekleidet. Ein einfacher Bürger war er nur bemüht, durch seine Arbeiten das Aufblühen seines Vaterlandes zu fördern, dem er eines der mächtigsten Verkehrsmittel schuf. Die Erwartungen, welche Livingston und Fulton von der Dampfschifffahrt gehegt hatten, gingen in reichstem Maße in Erfüllung, und hätte der Letztere das gleiche Alter erreicht, welches Watt beschieden war, so wäre er noch Zeuge geworden von den mächtigen Wirkungen, welche seine Erfindung auf die Schifffahrt bei allen Culturvölkern ausgeübt hat.

Dampfschifffahrt in Frankreich.

In demselben Jahre, in welchem Fulton starb, kehrte mit den Bourbonen auch der Marquis Jouffroy wieder nach Frankreich zurück. Während der Zeit, in welcher die politischen Verhältnisse ihn von seinem Vaterlande entfernt gehalten hatten, war in Amerika das ins Leben gerufen worden, an dessen Verwirklichung er dreißig Jahre früher wegen äußerer Hindernisse gescheitert war. Die bunten und wechselnden Erlebnisse so vieler Jahre hatten indessen dem Marquis seine alten Pläne und Bestrebungen nicht vergessen lassen, und noch konnte und wollte er der Erste sein, der die Dampfschifffahrt, an deren Erfindung ihm ein ehrenvoller Antheil gebührt, in Frankreich einführte. Durch die Gunst, in welcher er beim Hofe wegen der treuen Anhänglichkeit an dessen Sache stand, wurde es ihm leicht, sich das ausschließliche Privilegium zur Einführung der Dampfschifffahrt zu verschaffen. Eine Gesellschaft bildete sich zur Ausbeutung desselben, und das erste von ihr gebaute Dampfschiff wurde am 20. August 1816 von Stapel gelassen. Es erhielt nach dem Grafen von Artois, der das neue Unternehmen unter seine besondere Protection genommen hatte, den Namen Carl Philipp. Jouffroy sollte aber dieses ersten Erfolges gar nicht froh werden. Sein Patent wurde angefochten, und er konnte die Bildung der Gesellschaft Pajol nicht verhindern, welche als Nebenbuhlerin der seinigen entgegentrat. Zu

einem Wettstreite waren aber beide Gesellschaften noch zu schwach, und derselbe endete sehr bald mit der Auflösung von beiden. Der Marquis mußte zum zweiten Male, und diesmal für immer, der Ausführung seines Planes entsagen. Seine Mittel schmolzen zuletzt so zusammen, daß er nach der Julirevolution seine Aufnahme in das Invalidenhaus nachsuchen mußte. Hier starb er im Jahre 1832 an der Cholera, in einem Alter von achtzig Jahren. Jouffroy hat in mancher Hinsicht Aehnlichkeit mit seinem Landsmann Papin, und wie die Schicksale von diesem, erregen auch die seinigen ein wehmüthiges Mitgefühl. Beide hatten die Keime zu großen Erfindungen in ihrer Hand, und beide mußten die Entwickelung derselben zu fruchttragenden Bäumen Anderen überlassen.

Kaum 5 Jahre waren verflossen, seit der Clermont seine erste Reise von New-York nach Albany glücklich zurückgelegt hatte, als die Erfindung Fultons auch bereits nach England verpflanzt wurde. Im Jahre 1812 baute Henry Bell ein kleines Dampfboot auf dem Clyde, und drei Jahre später ein größeres, den Rob Roy, von 90 Tonnen. Noch in demselben Jahre wurden auf dem Clyde mehrere Dampfschiffe von Stapel gelassen, welche für verschiedene Gegenden Englands bestimmt waren. Von jener Zeit an bis zu der heutigen hinab sind wohl nirgendwo in England so viele Dampfboote gebaut worden, wie auf den Werften am Clyde. — Im Jahre 1817 wurde in Europa der erste Versuch gemacht, auch das Meer mit Dampfschiffen zu befahren, und zwar durch Einrichtung eines Dienstes zwischen Dublin und Holyhead. Nachdem das Dampfschiff sich auch zu diesem Zwecke als sehr geeignet bewährt hatte, verbreitete es sich in wenigen Jahren über die Nord- und Ostsee, über das Mittelländische und das schwarze Meer. Anfänglich waren es hauptsächlich englische Gesellschaften, welche den Dampfschiffs-Verkehr zwischen den verschiedenen europäischen Seehäfen vermittelten. Die rasche Zunahme dieses Verkehrs wird recht ersichtlich aus der Angabe, daß im Jahre 1829 bereits 331 Dampfschiffe in England vorhanden waren. *In England.*

In Deutschland war der Rhein der erste Strom, der mit Dampfschiffen befahren wurde. Anfänglich gelangte man mit denselben in einem Tage nur von Köln bis Koblenz, und erst im Anfang der vierziger Jahre wurde es durch die Anwendung von größeren Schiffen und stärkeren Maschinen möglich, von Köln aus noch an demselben Tage Mainz zu erreichen. Mehrere hunderttausend Reisende fahren jetzt alljährlich den Rhein hinauf und hinab, und doch mögen nur wenige von ihnen dabei der Männer gedenken, deren Genie und unermüdliche Ausdauer es möglich gemacht haben, daß das durch Dampfkraft getriebene Boot am Morgen die Brücke von Mainz passiren, und schon am Mittage sich im Angesichte des Domes von Köln vor Anker legen kann, nachdem es in raschem Lauf die zahlreichen Städte und Dörfer, wie die Burgen und Rebenhügel des schönen Rheinthales begrüßt hat. *In Deutschland.*

Das Dampfschiff war bereits seit dreißig Jahren erfunden und auch schon zu zahlreichen kleineren Seereisen benutzt worden, ehe man an die Lösung des großen Problemes ging, mittelst des Dampfschiffes Seereisen von größerer Ausdehnung zu unternehmen. Besonders war es die Fahrt zwischen Europa und Amerika, welche lange Zeit als eine für das Dampfboot unlösbare Aufgabe betrachtet wurde. Zwar war schon im Jahre 1819 ein amerikanisches Dampfschiff nach England gekommen, aber es hatte dabei abwechselnd von seiner Maschine und von Segeln Gebrauch gemacht, und doch sechs Tage länger als die gewöhnlichen Segelschiffe zu seiner Reise *Dampfschifffahrt nach Amerika.*

nöthig gehabt. Im Jahre 1825 machte ein englisches Dampfschiff die Fahrt von Falmouth nach Calcutta, wobei es jedoch mehrere Mal anlegte, um neues Brennmaterial einzunehmen, und sich auch häufig seiner Segel bediente. Diese beiden Reisen lieferten daher noch nicht den Beweis, daß es möglich sei, den Anforderungen zu genügen, welche an die Ueberfahrt nach Amerika gestellt wurden. Diese sollte ausschließlich durch die Dampfkraft zurück gelegt, und kein zwischen den Endpunkten liegender Hafen angelaufen werden. Hierzu mußte bei der Abfahrt so viel Brennmaterial mitgenommen werden, wie die Maschine bei ununterbrochenem Gange während der ganzen Reise verbrauchte. An diesem Umstand schien das Unternehmen zu scheitern. Und als man im Jahre 1836 die Dampfschifffahrt nach Amerika in England zuerst einer ernstlichen Discussion unterwarf, wurde ihr stets mit der Behauptung entgegen getreten, daß es ganz unmöglich sei, ein Dampfschiff zu bauen, dessen Tragkraft auch nur für die zu einer Reise von fünfhundert Meilen erforderlichen Kohlen ausreiche, daß also an ein Mitnehmen von anderen Gütern und von Personen gar nicht zu denken sei. Ein Professor aus London glaubte diese Behauptung sogar auf mathematischem Wege beweisen zu können, und legte seine betreffenden Ansichten dem Publikum in einem besonderen Werke vor. Ja, er reiste nach Bristol, um hier in öffentlichem Vortrage die Unmöglichkeit einer Dampfschifffahrt nach Amerika darzuthun. In Bristol ließ nämlich eine Gesellschaft, unbekümmert um die Unmöglichkeits-Beweise des gelehrten Herrn, ein mächtiges Dampfboot, den Great-Western, bauen, mit dem der Versuch gemacht werden sollte, ob die Dampfkraft im Stande sei, allein ein Schiff über den Atlantischen Ocean hinüber zu führen. Der Great-Western war ein Schiff von 1340 Tonnen, einer Länge von 240 Fuß, und mit Maschinen von 450 Pferdekräften versehen. Ende März 1838 war die Ausrüstung des Bootes beendet, und an den Mauern desselben Saales, in welchem kurze Zeit vorher die Unmöglichkeit bewiesen wurde, mit einem Dampfschiffe nach Amerika zu fahren, las man jetzt folgende Anzeige: „Der Great-Western, commandirt von Lieutenant Hosken, wird den 4. April von Bristol nach New-York in See gehen." Auf diese Anzeige hin beschloß eine andere Gesellschaft, gleichzeitig ein zweites Dampfschiff nach New-York abgehen zu lassen, und zwar den Sirius, ein Schiff von 700 Tonnen, mit Maschinen von 320 Pferdekräften. Am 5. April verließ der Sirius, der 453 Tonnen Steinkohlen eingenommen hatte, den irländischen Hafen Cork, und drei Tage später folgte ihm von Bristol aus der Great-Western, welcher 660 Tonnen Steinkohlen und sieben Passagiere an Bord hatte. In den ersten Tagen ihrer Fahrt hatten beide Schiffe mit heftigem Westwinde zu kämpfen, und der Sirius kam nur langsam vorwärts; sein Lauf wurde aber von Tag zu Tag schneller, jemehr sein Tiefgang in Folge des Brennstoffverbrauches abnahm. Endlich, am Morgen des 23. April, befand sich der Sirius im Angesicht von New-York. Hier war man davon unterrichtet, daß ein englisches Dampfboot die Fahrt über den atlantischen Ocean versuchen wolle, und mit Spannung erwartete man das erste Schiff, durch welches es zur Gewißheit werden sollte, daß die neue Welt der alten um so vieles näher gerückt sei. Als daher am Morgen des 23. April am fernen Horizont eine Rauchwolke sichtbar wurde, bedeckten sich die Ufer des Hudson mit einer dichten Menschenmenge, welche der Ankunft des Sirius harrte. Dieser hatte die Flaggen Englands und der Vereinigten Staaten aufgehißt, und als er in den

Hafen von New-York einfuhr, begrüßten ihn die Batterien auf der Insel Bradlow mit sechs und zwanzig Salutschüssen. In das Dröhnen der Geschütze stimmte das Glockengeläute von allen Thürmen der Stadt ein. Sämmtliche Schiffe im Hafen legten ihren Flaggenschmuck an, und die jubelnde Menge umringte in zahllosen Booten das Schiff, welches nach einer siebzehntägigen, durch Dampfkraft zurückgelegten Fahrt dem Tochterlande die Grüße Alt-Englands überbrachte. Die Freude über die glückliche Ankunft des Sirius hatte noch nicht ausgeklungen, als auch der Great-Western mit voller Kraft herangerudert kam, und dicht vor seinem Nebenbuhler vor Anker ging. In seinem Tagebuche schreibt einer der Passagiere des Great-Western über den Empfang desselben in New-York: „Als wir uns dem Ufer näherten, umringte uns eine große Zahl dicht gefüllter Boote. Die Verwirrung und das Gedränge lassen sich nicht beschreiben; allenthalben wehten Flaggen, die Kanonen wurden gelöst, und alle Glocken waren in Bewegung. Eine unzählige Menschenmenge ließ laute Beifallsrufe erschallen, die von Zeit zu Zeit auf dem Lande und auf den Booten wiederholt wurden und sich endlich verloren. Die vollständige Stille, die darauf folgte, ließ uns das Ganze als einen Traum erscheinen.“ Manche von denen, die diesen 23. April erlebten, hatten ein und dreißig Jahre früher auch die erste Fahrt des Clermont anfänglich bespöttelt und dann bewundert.

Dampfschiffs-Maschinen.

Zur Umtreibung der Welle, auf welcher die beiden Ruderräder sitzen, wurden anfänglich nur Watt'sche doppeltwirkende Maschinen gebraucht. Da es bei den Schiffsmaschinen nie an Wasser zur Condensation des Dampfes fehlt, so ist es natürlich, daß man sich den Nutzen derselben nicht entgehen läßt. Unter Beibehaltung der Condensation hat man aber auch nach und nach höher gespannte Dämpfe angewandt, und dabei zugleich einen größeren Gebrauch von der Expansion gemacht. Nur auf einzelnen Flußschiffen, besonders in Amerika, werden Hochdruckmaschinen ohne Condensation benutzt. Da bei Dampfschiffen die Anwendung eines Schwungrades nicht zulässig ist, so läßt man fast immer zwei vollständige Maschinen auf die Kurbelwelle wirken: man wendet also gekuppelte oder Zwillings-Maschinen an. Es ist nicht möglich, hier die verschiedenen Anordnungen näher zu beschreiben, welche man für die Dampfmaschine behufs ihrer Verwendung auf Schiffen ausgesonnen hat. Solche Beschreibungen lassen sich nur an genaue und große Zeichnungen anknüpfen, und diese sind doch wiederum nur dem zu vollem Verständniß zu bringen, welcher die Sprache erlernt hat und versteht, welche die Ansichten und Schnitte einer geometrischen Zeichnung reden.

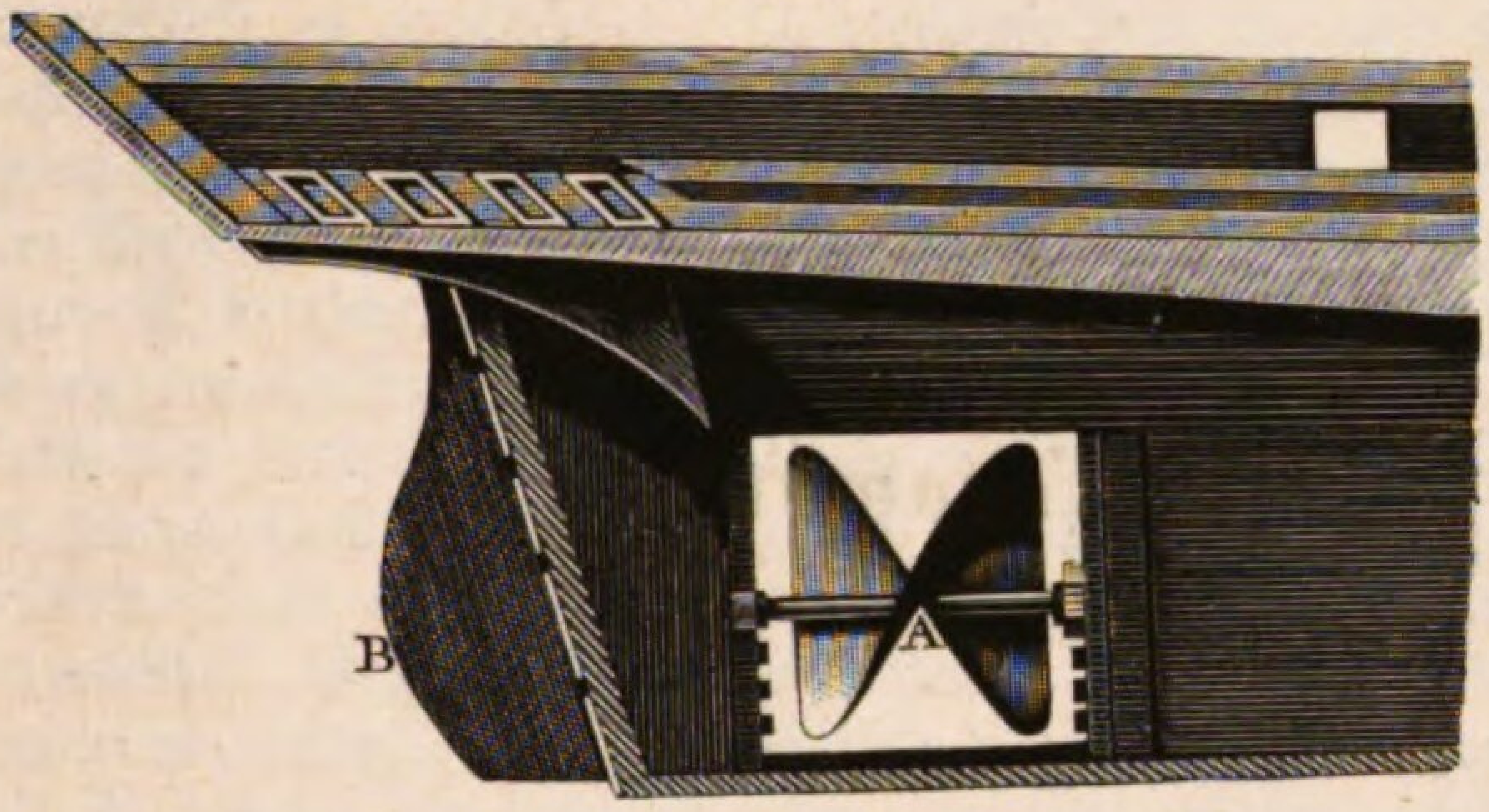
Die Schraube.

Als Fulton sich für Schaufelräder als Treibapparat bei Dampfschiffen entschied, hatte er nur die Flußschifffahrt im Auge, und für diese war derselbe auch so richtig gewählt, daß man noch bis heute fast nirgends davon abgewichen ist. Bei der späteren Anwendung der Ruderräder für Seebote zeigte es sich aber bald, daß sie für diesen Zweck nicht allen Anforderungen entsprachen, und verschiedene Nachtheile im Gefolge haben. Das durch Wind und Wellen verursachte Rollen der Seeschiffe, d. h. die schwingende Bewegung um ihre Längenachse, bewirkt, daß die beiden Schaufelräder sehr ungleich eintauchen, ja, daß oft eines derselben ganz aus dem Wasser heraustritt. Die Folge hiervon ist eine sehr ungleiche und nachtheilige Beanspruchung der Maschine, sowie eine bedeutende Erschwerung des Steuerns. Die großen Radkasten bieten dem Winde eine bedeutende Wirkungsfläche dar, und sind wegen ihrer Breite bei der Durchfahrt durch enge Hafeneingänge

sehr hinderlich. Endlich sind Schaufelräder für Kriegsschiffe ganz ungeeignet, da sie einmal den feindlichen Kugeln viel zu sehr ausgesetzt sind, und dann auch einen zu großen Theil der Breitenseite des Schiffes einnehmen, wodurch sie den Raum zur Anbringung von Geschützen sehr verengen. Von allen diesen Nachtheilen ist ein anderer Treibapparat gänzlich frei, nämlich die Archimedische Schraube. Diese besteht der Hauptsache nach aus einer Spindel, um welche eine Fläche schraubenförmig herumgewunden ist. Umgiebt man eine Archimedische Schraube mit einem dicht anschließenden cylindrischen Mantel, so kann sie zum Wasserheben benutzt werden, wie dies auch wirklich im alten Egypten geschah. Umgekehrt muß auch eine horizontal liegende, ganz unter Wasser getauchte Archimedische Schraube, wenn sie in rasche Drehung um ihre Achse versetzt wird, einem mit ihr verbundenen Körper eine fortschreitende Bewegung ertheilen. Der Vorgang hierbei ist ganz ähnlich dem, welcher bei der Drehung einer gewöhnlichen Schraube in einer festgehaltenen Schraubenmutter statt findet. Bei der eben erwähnten Verwendung der Archimedischen Schraube vertritt das Wasser die Stelle der Schraubenmutter, in das jenes die Gewinde gleichsam einschneidet. Die Fortbewegung der Schraube kann hierbei aber natürlich nicht so groß sein, als wenn sie sich in einem festen Körper umdreht, da das Wasser nach den Seiten ausweicht, wodurch ein Theil der Wirkung verloren geht.

Der Gedanke, die Schraube als Treibapparat für Schiffe zu benutzen, ist schon sehr alt, und es wurden darüber, ebenso wie über die Anwendung der Schaufelräder, schon häufig Versuche gemacht, ehe noch die Dampfmaschine erfunden war, und irgendwie an die Dampfschifffahrt gedacht wurde. Durch die Einführung der letzteren erhielten aber jene Versuche wieder einen neuen und lebhaften Anstoß. Lange Zeit hindurch wollten dieselben indeß durchaus zu keinem günstigen Resultate führen, und die unermüdliche Ausdauer der tüchtigsten Ingenieure war erforderlich, um endlich aller Schwierigkeiten Herr zu werden. Wie in so vielen anderen Fällen war es auch diesmal wieder England, welches endlich die Mittel zur Erprobung einer neuen Erfindung und zu ihrer Einführung in die Praxis hergab. Nachdem englische und amerikanische Ingenieure vielfache Versuche über die beste Form der Schraube, und darüber, wo sie am Schiffe anzubringen sei, gemacht hatten, gelang es Ericson im Jahre 1838 ein kleines Boot zu bauen, welches mit zwei Schrauben ausgerüstet war; ungefähr in der Weise, wie es schon Delisle vorgeschlagen hatte. Fast gleichzeitig trat der Engländer Smith mit seinem Vorschlage hervor, nach welchem die aus einem Gang bestehende Schraube in einer in dem Schiffskörper, vor dem Steuerruder, hergestellten Oeffnung angebracht werden sollte. Nach diesem Plane ließ eine Gesellschaft im Jahre 1839 ein großes und schönes Schiff, den Archimedes, bauen. Da bei demselben die Schraube allen Erwartungen entsprach, so war ihre Benutzung als Treibapparat von nun an gesichert. Obgleich hinsichtlich der Form der Schraube noch zahlreiche Veränderungen versucht wurden, so blieb man doch meist bei der von Smith gewählten Anbringungsweise derselben stehen. In Fig. 214 ist das hintere Ende eines Schraubenschiffes dargestellt; A ist die Schraube, B das Steuerruder. Die Achse der Schraube geht durch eine Stopfbüchse hindurch in den Schiffskörper, und erhält hier von der Dampfmaschine ihre drehende Bewegung. Für eine gute Wirkung der Schraube ist es erforderlich, daß sie eine große Zahl von Umdrehungen macht, und zwar je nach ihrer Größe 100 bis 250

(Fig. 214.)



in der Minute. Gewöhnlich ist es daher nicht möglich, die Dampfmaschine direct auf die Schraubenwelle wirken zu lassen, und es bedarf noch eines besonderen Räderpaares, um die nöthige Geschwindigkeit der Schraube hervorzubringen.

Die Vorzüge der Schraube vor den Schaufelrädern bestehen nun darin, daß die Schraube, da sie bei allen Bewegungen des Schiffes immer unter Wasser bleibt, die Maschine sehr gleichmäßig beansprucht, und daß sie die lästigen Radkasten unnöthig macht. Ferner läßt sich die Dampfmaschine, wenn sie eine Schraube umtreiben soll, compendiöser anordnen, als wenn sie auf Schaufelräder zu wirken hat. Hieraus erwächst natürlich eine Vergrößerung des Laderaumes. Dagegen vermag die Schraube einem Schiffe nur eine etwas kleinere Geschwindigkeit zu ertheilen, als Schaufelräder; und bei der schnellen Bewegung der Schraube und einzelner Maschinentheile erfordert die Unterhaltung derselben eine besondere Sorgfalt. — Für Kriegsschiffe ist die Schraube ein vortrefflicher Treibapparat, da sie selbst ganz unter Wasser liegt, und es auch möglich macht, daß die Dampfmaschine so tief in den Schiffsraum hinabgestellt wird, daß alle ihre Theile unter der Wasserlinie liegen, und also so viel wie möglich den feindlichen Kugeln entzogen sind. Seit der Anwendung der Schraube werden die meisten Kriegsschiffe, selbst die von hundert und mehr Kanonen, als Dampfschiffe gebaut. So war während des letzten Krieges das Flaggenschiff des englischen Admirals in der Ostsee, der Duke of Wellington, ein Schrauben-Dampfschiff.

Die Locomotive.

Die Dampfmaschine wurde ursprünglich im Interesse des Bergbaues erfunden, und dann von Watt bis zu dem Grade vervollkommnet, daß die gesammte Industrie sich ihrer bedienen konnte. Der Aufschwung, welchen in Folge dessen die Gewerbthätigkeit und das Fabrikwesen erfuhren, mußte in hohem Maße belebend auf den Handelsverkehr zurückwirken. Hierbei zeigte es sich aber bald, daß die bisherigen Transportweisen den neuen und verstärkten Anforderungen, welche die Industrie an sie stellte, nicht gewachsen waren, und der Gedanke lag sehr nahe, dieselbe Kraft, welche jene Anforderungen hervorgerufen hatte, auch zur Befriedigung derselben zu benutzen. Nur die Dampfkraft war im Stande, den durch die neuen industriellen Verhältnisse mächtig anschwellenden Verkehrsstrom in genügend raschem Fluß zu erhalten. Daß es soviel früher gelang, die Dampfkraft für den Transport zu Wasser als für den auf dem Lande zu benutzen, hängt enge mit dem Entwickelungsgange zusammen, welchen die Erfindung der Dampfmaschine genommen hat. Die Maschine mit Condensation, welche sich für das Dampfschiff so gut eignet, ist zur Herstellung eines Dampfwagens durchaus untauglich. Und dann konnte das Dampfschiff die schon vorhandenen Wasserstraßen gemeinschaftlich mit allen anderen Schiffen befahren, während der Dampfwagen sich nur auf besonderen, erst zu bauenden Straßen — den Eisenbahnen — mit Vortheil gebrauchen läßt.

Erste Dampfwagen.

Einige Versuche, die gemacht wurden, um die ältere Dampfmaschine zur Fortbewegung eines Wagens zu benutzen, blieben, wie dies auch nicht anders sein konnte, ohne jeden Erfolg. Die Ausführung des Problems, einen Dampfwagen herzustellen, wurde erst dann möglich, als durch Olivier Evans die Maschine ohne Condensation, die Hochdruckmaschine ausgebildet und in die Praxis eingeführt wurde. Evans selbst beschäftigte sich, wie schon oben auf S. 294 bemerkt wurde, lange Jahre mit der Erfindung eines Dampfwagens, und es gelang ihm auch einen solchen zu bauen und damit in den Straßen von Philadelphia umherzufahren. Zwei englische Ingenieure in der Grafschaft Cornwales, Trevithick und Vivian, führten die Hochdruckmaschine im Jahre 1801 in England ein, und kamen ebenso wie Evans auf den Gedanken, dieselbe zur Bewegung eines Wagens zu gebrauchen. Auch gelang ihnen die Ausführung ihres Planes, und sie erhielten (1802) sogar ein Patent, welches ihnen das ausschließliche Recht, gewöhnliche Straßen mit Dampfwagen zu befahren, sicherte. Aber sowohl sie wie Evans scheiterten mit ihrem Unternehmen, und zwar nicht in Folge äußerer Einflüsse und Behinderungen, sondern wegen Nichtbeachtung einiger

Bedingungen, unter welchen allein ihr Project ausführbar war. Denn wenn es auch den genannten Ingenieuren gelang, den Transport zu Lande mittelst Dampfkraft zu ermöglichen, so gewährte doch die Art und Weise, wie sie diesen Gedanken verwirklichten, keinerlei Vortheile. Gewöhnliche Straßen eignen sich nun einmal nicht dazu mit Dampfwagen befahren zu werden. Der Widerstand, welchen dieselben der Bewegung eines Fuhrwerkes entgegensetzen, ist beträchtlich, und zugleich meist sehr veränderlich wegen der in weiten Grenzen wechselnden Steigungen dieser Straßen. Ferner verursachen die Unebenheiten derselben Stöße, denen auch der stärkst gebaute Dampfwagen, bei seinem künstlichen Mechanismus, nicht lange zu widerstehen vermöchte. Endlich würde die Benutzung der gewöhnlichen Straßen die Anwendung jeder bedeutenden Geschwindigkeit ausschließen, da diese mit zu großen Gefahren verbunden wäre. Nach mancherlei Versuchen kamen denn auch Trevithick und Vivian zu der Ueberzeugung, daß sie auf ihr erstes Project verzichten müßten. Um indessen nicht alle Früchte ihrer Bemühungen zu verlieren, beschlossen die beiden Erfinder, ihren Dampfwagen zum Befahren der schon seit längerer Zeit bei den Kohlengruben angelegten Schienenwege einzurichten. Die Wichtigkeit eines leichten Transportes der beim Bergbau gewonnenen Erze und Kohlen hatte schon frühe dazu geführt, auf den Gruben Holzbahnen anzulegen, bei denen die Räder auf Gleisen liefen, die aus zusammenstoßenden Langhölzern gebildet waren. Wann solche **Holzbahnen** zuerst in England benutzt worden sind, läßt sich nicht angeben, doch waren sie nach einem im Jahre 1676 erschienenen Buche schon damals in Newcastle in Gebrauch. Die Holzgleise waren aber in Folge ihrer raschen Abnutzung sehr kostspielig, und um dieselbe zu vermindern, nagelte man später auf der oberen Fläche der Hölzer dünne Eisenstreifen auf. Als mit der allmäligen Vermehrung der Eisenproduction der Preis des Eisens sank, ging man dazu über, an Stelle der hölzernen Schienen solche von **Gußeisen** anzuwenden. Der erste Versuch hiermit wurde im Jahre 1738 gemacht, und dreißig Jahre später wurde der Gebrauch der gußeisernen Schienen allgemein. Hierzu trugen besonders die Bemühungen von William Reynolds bei, der als Mitbesitzer der großen Gießerei von Colerook-Dale diesem Werke einen neuen und bedeutenden Absatzweg eröffnen wollte. Die hier gegossenen Schienen waren an ihrer äußeren oberen Kante mit einer nach oben vorspringenden Leiste versehen, welche das Ablaufen der Räder verhindern sollte. Die Einrichtung verursachte aber ein häufiges Festklemmen der Räder, weßhalb sie (1789) von W. Jessop dahin abgeändert wurde, daß die Leiste an den Schienen wegfiel, wogegen die Räder an ihrem Umfange einen herumlaufenden Spurkranz erhielten. Es ist dies dieselbe Anordnung, welche noch heute bei allen unseren Eisenbahnen befolgt wird. Im Anfange dieses Jahrhunderts wurde das Material der Schienen nochmals gewechselt, und statt der gußeisernen kamen allmälig aus Schmiedeisen gewalzte Schienen in Gebrauch, die namentlich den nicht zu vermeidenden Stößen weit besser widerstehen als jene.

Holzbahnen.

Eisenbahnen.

Als Trevithick und Vivian sich entschlossen, mit ihrem zu einer Locomotive umgeänderten Dampfwagen keine gewöhnlichen Landstraßen, sondern nur Schienenwege zu befahren, erkannten sie durchaus nicht, daß dies ein wichtiger und zugleich nothwendiger Schritt sei zur Erreichung ihres Zieles: die Dampfkraft für den Landtransport dienstbar zu machen. Sie hielten das, was in Wirklichkeit ein Fortschritt war, für eine beklagenswerthe Beschränkung ihres Projectes, die man sich nur in Ermangelung von besseren

Mitteln gefallen lassen müsse. Diese Ansicht hatte ihren Grund in einem sonderbaren Vorurtheil, welches damals von allen Ingenieuren getheilt wurde. Man glaubte nämlich, daß die Reibung zwischen den eisernen Schienen und den durch Dampfkraft umgetriebenen Rädern einer Locomotive zu gering sei, als daß letztere irgend bedeutende Lasten fortzuziehen vermöge. Man fürchtete, die Räder würden sich umdrehen, ohne auf den Schienen fortzurollen. Diese Furcht spielte fast ein ganzes Jahrzehent die Rolle eines neckischen Kobolds, und veranlaßte allerlei Erfindungen, durch welche eine in Wirklichkeit gar nicht bestehende Schwierigkeit glücklich überwunden werden sollte. Unwillkührlich wird man an den Kampf des edlen Junkers von La Mancha mit den Windmühlen erinnert, wenn man einen Blick auf die Mittel und Bemühungen wirft, mit denen manche Ingenieure über das nur von ihrer Einbildungskraft geschaffene Hinderniß obsiegen wollten. So brachte z. B. ein Herr Blenkinshop an der einen Schienenreihe eines Gleises eine Zahnstange an, in welche ein von der Dampfkraft umgetriebenes Zahnrad eingriff. Endlich, im Jahre 1813, kam Herr Blackett auf den glücklichen Gedanken, einmal wirklich zu versuchen, ob denn die Reibung zwischen den Schienen und den Treibrädern der Locomotive wirklich so gering und ungenügend sei, wie man seit vielen Jahren unaufhörlich behauptete. Und siehe da, jener lang genährte Wahn verschwand vor einigen einfachen Versuchen, wie der Nebel vor der Sonne. Plötzlich stand die Thatsache fest, daß es gar keiner künstlichen Hülfsmittel bedürfe, damit die auf die Treibräder einer Locomotive ausgeübte Kraft im Stande sei, einen Wagenzug auf eisernen Schienen fortzubewegen.

Georg Stephenson. Die Stellung, welche James Watt der Dampfmaschine gegenüber einnimmt, die er durch seine Erfindungen und sein rastloses Streben aus den ihm von Anderen überlieferten schwachen Anfängen und Keimen zur wichtigsten Kraftmaschine emporgehoben und ausgebildet hat, dieselbe Stellung gebührt in Bezug auf die Locomotive und das gesammte Eisenbahnwesen dem großen und ihm wohl ebenbürtigen Landsmanne von Watt: sie gebührt Georg Stephenson. Derselbe war am 9. Juni 1781 in Wylam, einem kleinen, stark zwei Stunden von Newcastle am Tyne gelegenen Dorfe geboren. Der Vater war Heizer bei der Pumpmaschine einer Kohlengrube, die Mutter wird als eine vortreffliche Frau geschildert. Aber die Eltern waren so arm, daß sie keinem ihrer sechs Kinder, von denen Georg das zweite war, den geringsten Unterricht ertheilen lassen konnten. Als Georg acht Jahre alt war, zog die Familie, da die Wylamer Kohlengrube abgebaut war, nach Dewley Burn, wo der Vater wiederum als Heizer angestellt wurde. Hier mußte der Knabe schon bald durch Viehhüten und andere ländliche Arbeiten das geringe Einkommen der Eltern aufbessern helfen. Der Tagelohn von vier Pence, den er hierbei verdiente, verdoppelte sich, als er nach einiger Zeit auf dem Kohlenwerke, wo sein Vater arbeitete, mit dem Auslesen von Kohlen und dem Treiben des Maschinenpferdes beschäftigt wurde. Nach Verlauf einiger Zeit wurde Georg seinem Vater als zweiter Heizer beigegeben. Er war damals kaum vierzehn Jahre alt, und suchte sich womöglich den Blicken des Grubenbesitzers zu entziehen, damit dieser ihn nicht, als für seinen Posten noch zu jung, fortschicken möchte. Etwa ein Jahr später mußte die Stephenson'sche Familie, wegen Erschöpfung der Grube in Dewley Burn, wieder weiter ziehen. Diesmal wurde der neue Wohnsitz in Jolly's Close, eine Stunde südlich von dem bisherigen aufgeschlagen, und Vater und Sohn arbeiteten wieder als erster und zweiter

Heizer auf einer Kohlengrube. Kurze Zeit nachher verbesserte sich aber Georg bereits, indem er als erster Heizer auf einer benachbarten Grube angestellt wurde. Hier hatte er mit einem ihm beigegebenen Kameraden die dort befindliche kleine Pumpmaschine zu beaufsichtigen, und erhielt dafür einen Tagelohn von einem Schilling. Das nächste Ziel seines Ehrgeizes bestand nun darin, zum Maschinenwärter aufzusteigen. Die Gelegenheit hierzu ließ nicht lange auf sich warten. Die Grube, auf welcher der alte Stephenson beschäftigt war, wurde geschlossen, und statt ihrer eine neue zu Water-Row eröffnet. An die Pumpmaschine derselben kamen wiederum Vater und Sohn, aber diesmal jener als Heizer, Georg dagegen, obgleich erst siebzehn Jahre alt, als Wärter. Nach seiner Stellung in der Arbeiterwelt hatte er somit seinen Vater bereits überflügelt. Als Maschinenwärter suchte Georg seine Maschine auf das Genaueste kennen zu lernen; er studirte ihre Einrichtung und ihre Thätigkeit, und genoß dabei so recht das Vergnügen, das jeder denkende Mensch empfindet, dessen Aufmerksamkeit durch einen so wohl gegliederten Organismus, wie die Dampfmaschine, in Anspruch genommen wird.

Je weiter es Georg Stephenson in seiner Laufbahn brachte, je mehr fühlte er auch, welches große Hinderniß für ihn der Nichtbesitz auch der einfachsten Elementar-Kenntnisse sei. Was bei uns in Deutschland heutzutage auch die ärmere Klasse schon im Kindesalter lernt, das war für Stephenson noch etwas ganz Fremdes, als er bereits achtzehn Jahre alt war; er konnte in diesem Alter noch nicht lesen und schreiben. Aber seine braven Eltern hatten mit einer auf Fleiß, Sparsamkeit und eiserne Ausdauer hinzielenden Erziehung das Fundament gelegt, auf dem weiterbauend er sich die fehlenden Kenntnisse leicht erwerben konnte, besonders da ihm dabei vortreffliche natürliche Anlagen zu Hülfe kamen. Zuerst besuchte Stephenson gegen eine wöchentliche Vergütung von drei Pence eine Abendschule in einem Nachbardorfe, und lernte dort in kurzer Zeit lesen, sowie auch seinen Namen schreiben. Im Winter 1799 kam ein schottischer Vicar nach Newburn, der ein guter Rechner war, was Stephenson namentlich bewog, ihn zu seinem Lehrer zu wählen. Viele Zeit konnte der junge Maschinenwärter nicht auf's Lernen verwenden, da ihn seine Arbeit täglich volle zwölf Stunden in Anspruch nahm. Aber durch eifrige Ausnutzung jeder freien Minute machte er dennoch rasche Fortschritte, und hatte sich bald auch auf geistigem Gebiete Bürgerrecht errungen.

Es war ein hervorstechender Zug in Stephenson's Charakter, Alles, was er that, gründlich und ganz zu thun, aber das Ziel gleich wieder weiter zu rücken, sobald er etwas Erstrebtes erreicht hatte. Als er mit der Wartung von Pumpmaschinen ganz vertraut war, ging er daran, auch die der Fördermaschinen zu erlernen. Es sind dies Dampfmaschinen, mittelst deren bei Bergwerken die Kohlen und Mineralien durch den Schacht herauf gefördert, und die in England gewöhnlich auch dazu benutzt werden, die Bergleute in die Gruben hinunter und wieder aus denselben heraus zu schaffen. Besonders des letztern Zweckes wegen muß der Führer einer Fördermaschine ein geschickter und sehr zuverlässiger Mann sein, damit Unglücksfälle vermieden und die Maschine namentlich rechtzeitig zum Stillstand gebracht wird, wenn die Fördergefäße am oberen oder unteren Schachtende ankommen. Um dieses Stillstehen sicherer bewirken zu können, ist an den Fördermaschinen in der Regel ein großes, vom Wärter zu handhabendes Bremsrad angebracht, weshalb dieser auch kurz als Bremser bezeichnet wird. Ein solcher Bremser

nun suchte Stephenson zu werden, da dessen Beschäftigung lohnender war, als die eines Pumpenmaschinen-Wärters. Im Jahre 1801 gelang es ihm auch, auf der Dolly-Grube bei Black-Callerton eine Stelle als Bremser zu finden, wobei er alle vierzehn Tage neun bis zwölf Thaler verdiente. Seine Arbeit brachte es mit sich, daß er periodisch Tag- oder Nachtdienst hatte. Der letztere ließ ihm manche freie Stunde, die er theilweise zu weiterer Ausbildung im Rechnen und Schreiben, und theilweise zur Ausübung einer Geschicklichkeit verwandte, welche die späteren Bewunderer des großen Ingenieurs wohl nicht bei ihm vermuthet haben: er beschäftigte sich mit dem Neumachen und Flicken von Schuhen für seine Kameraden.

Diese Beschäftigung hatte eine besondere Veranlassung, welche sie Stephenson weniger prosaisch erscheinen ließ, als es sonst wohl würde der Fall gewesen sein. Er suchte nämlich auf jede ehrenhafte Weise sein Einkommen zu vermehren, um Fanny Henderson, ein hübsches und liebenswürdiges Mädchen, als sein Weib heimführen zu können. Dieses Ziel spornte ihn zu unermüdlicher Thätigkeit und Sparsamkeit an, und gegen Ende des Jahres 1802 hatte er sich soviel erübrigt, daß er Callerton verlassen und sich in Willington, in der Nähe von Newcastle, wo er wieder als Bremser angestellt wurde, einen eigenen Herd gründen konnte. Für die Ausschmückung desselben that er soviel, wie ihm seine Mittel nur immer erlaubten. Das fleißige und mäßige Leben, an das er von Kindheit an gewöhnt war, gewann noch größeren Reiz für ihn, seitdem er den Ertrag seiner Arbeit mit seiner geliebten Fanny theilen durfte. Jede Stunde, die Stephenson zu Hause zubringen konnte, füllte er in nützlicher und ihn fördernder Weise aus. In dieser Zeit suchte er auch auf eigene Hand die Lehren der Mechanik zu ergründen, um dadurch die Gesetze kennen zu lernen, nach welchen die ihm anvertraute Maschine arbeitete. Es erging ihm hierbei wie vielen Anderen, die bei solcher Beschäftigung darauf verfallen, das Perpetuum mobile erfinden zu wollen. Aber während schwache Geister an dieser Klippe meist scheitern, und dabei ihr Geld und häufig sogar den Verstand einbüßen, wandte Stephenson dem schimmernden Phantome bald wieder den Rücken. Besseren Erfolg hatte ein anderer Versuch. Bei einem kleinen Brandunglücke in Stephenson's Wohnung war seine Wanduhr beschädigt worden; er nahm sie auseinander und stellte sie vollständig wieder her. Es wurde dies die Veranlassung, daß er bald ebenso für die Uhren, wie für die Schuhe seiner Nachbarn zu sorgen hatte. Seinem kleinen Haushalte kam die neue Einnahmequelle um so besser zu statten, als den Eltern am 16. December 1803 ihr Sohn Robert geboren wurde. Dieser erbte nicht nur den Namen, sondern auch die Tüchtigkeit des Vaters, dem er in späteren Jahren durch eigene Verdienste ebenbürtig an die Seite trat.

Nach einem dreijährigen Aufenthalte in Willington zog Stephenson als Bremser des West-Moor-Kohlenwerkes nach Killingworth, das etwa zwei Meilen nördlich von Newcastle liegt. Kaum hatte er sich an seinem neuen Wohnorte etwas eingelebt, als durch den Tod seiner Frau die glücklichste Ehe, ach so bald, zerrissen wurde. Nur durch die angestrengteste Thätigkeit vermochte Stephenson seines furchtbaren Schmerzes Meister zu werden, und wohl der Wunsch, einige Zeit von dem Orte entfernt zu sein, an welchem für ihn so traurige Erinnerungen hafteten, veranlaßte ihn, den ihm angetragenen Posten als Wärter einer von Watt und Boulton erbauten Maschine anzunehmen, die auf den Kohlenwerken bei Montrose in Schott-

land aufgestellt war. Aber schon nach einem Jahre führte ihn die Sehnsucht nach seinem Kinde, das er bei einem Nachbar in Pflege gegeben hatte, wieder nach Killingworth zurück. Hier trat er seine frühere Beschäftigung als Bremser wieder an.

Die große Mühe und Aufmerksamkeit, welche Stephenson jahrelang darauf verwandt hatte, sich eine genaue Kenntniß der Förder- und Pumpmaschinen zu erwerben, sollten nun endlich die verdiente Anerkennung finden und ihn dadurch der großen, ihm bestimmten Aufgabe näher bringen. Auf einem in Killingworth neu in Angriff genommenen Schachte war eine alte Pumpmaschine aufgestellt worden, die wegen ihrer fehlerhaften Construction das Wasser nicht zu wältigen vermochte, wodurch ein weiteres Abteufen des Schachtes unmöglich wurde. Nachdem bereits alle Mechaniker der Umgegend ihre Kunst an dieser Maschine erfolglos versucht hatten, erklärte endlich Stephenson, der Jener Bemühungen fortwährend im Auge behalten, er glaube den fraglichen Uebelständen abhelfen zu können. Ralph Dods, der Oberaufseher der Grube, gestattete ihm einen Versuch zu machen. Und wirklich gelang dem scharfen und praktischen Blicke des einfachen Bremsers, was Leuten, die sich weit über ihm dünkten, mißglückt war. Die Anerkennung für diese Leistung blieb nicht aus. Dods stellte Stephenson sogleich mit gutem Gehalte als Maschinenmeister für die Abteufung des Schachtes an, und in kurzer Zeit galt er in weitem Umkreise als der geschickteste Mechaniker. Die nächste Zeit beschäftigte er sich nun mit Instandhaltung und Verbesserung von Grubenmaschinen, die man keinen geschickteren Händen glaubte anvertrauen zu können. Im Jahre 1812 engagirte die Gesellschaft, welche die Killingworther Gruben gepachtet hatte, Stephenson als Maschinen-Ingenieur; er bezog als solcher ein Gehalt von 100 Pfund. Während sich so seine äußere Lage verbesserte, war er nur um so eifriger bemüht, seine Kenntnisse zu erweitern und das nachzuholen, worauf er in seiner Kindheit und Jugend unter der Last der Arbeit und Sorge hatte verzichten müssen. Insbesondere scheute er auch keine Opfer, um seinem Robert einen tüchtigen Unterricht zu verschaffen, und ließ ihn seit 1814 eine gute Schule in Newcastle besuchen. Von dem, was der Sohn hier lernte, empfing auch der Vater manche Anregung, die bei ihm auf den fruchtbarsten Boden fiel.

Obgleich das, was im Vorhergehenden von Stephenson berichtet worden, sich nicht unmittelbar auf die Erfindung der Locomotive bezieht, so ist es doch wohl gerechtfertigt, von einem Manne, der so Großes geleistet hat, auch den Theil seines Lebens zu schildern, welcher gleichsam die Keime der spätern Erfolge in sich birgt. Sobald das Leben ihn einmal zu dem Punkte hingeführt hatte, wo die Verhältnisse selbst ihn auf das Problem hinwiesen, dessen Lösung seine eigentliche Lebensaufgabe werden sollte, erkannte er auch sofort die Bedeutung, die jenem zukam, und trat an dasselbe heran mit ganzer Kraft und mit der zähen Ausdauer, die seinem Charakter eigen war. In seiner Stellung lag es ihm ob, für den Transport der Kohlen von den Gruben nach dem eine Stunde entfernten Tyne-Flusse die besten und billigsten Vorkehrungen herzurichten. Da mußte ihm denn wohl der Gedanke kommen, auch seine Kräfte anzustrengen, um die Dampfmaschine zu solchem Transporte verwendbar zu machen. Eine bestimmte Richtung mußte sein desfallsiges Nachdenken durch den Umstand erhalten, daß auf einer Schienenbahn ganz in seiner Nachbarschaft eine von Herrn Blackett gebaute Locomotive sich täglich hin- und her bewegte. Es ist dies derselbe Herr Blackett,

von dem weiter oben (S. 338) mitgetheilt wurde, er habe zuerst constatirt, daß die Reibung zwischen eisernen Schienen und glatten eisernen Rädern völlig ausreichend sei, um durch Umdrehen der letztern eine Locomotive nebst den ihr angehängten Wagen fortzubewegen. Außer der Benutzung dieser wichtigen Thatsache bot aber die Blackett'sche Locomotive durchaus Nichts dar, was zur Nachahmung empfehlenswerth gewesen wäre. Auch eine der Blenkinshop'schen Locomotiven, bei welcher ein Zahnrad in eine zur Zahnstange umgeänderte Schiene eingriff, hatte Stephenson in dieser Zeit Gelegenheit, in Thätigkeit zu sehen.

Stephenson's erste Locomotive. Diese Locomotiven lassen sich in Parallele stellen mit der Newcomen=schen Dampfmaschine; jene sowohl als diese bedurften erst noch eines genialen Erfinders, um aus der Dunkelheit hervorzutreten, und als Meteore aufzuleuchten an dem Himmel einer neuen Zeit. Eine ähnliche Umwandlung wie die, durch welche Watt aus der Atmosphärischen die eigentliche Dampf=Maschine hervorgehen ließ, nahm Stephenson mit den vor ihm ausgeführten Locomotiven vor. Nachdem er diese genau studirt hatte, war es ihm bald unzweifelhaft, daß er eine weit bessere Locomotive als alle seine Vorgänger bauen könne. Es war dies kein eitles Ueberheben, sondern das klare Bewußtsein des Genies von seiner überlegenen Kraft. Und wie Stephenson sich selbst vertraute, so wußte er auch Andern Vertrauen einzuflößen. Die Besitzer der Kohlenwerke, in deren Dienst er stand, gaben ihm das Geld, um nach seinem Plane eine Locomotive zu bauen. Er begann diese Arbeit sofort in den Werkstätten der West=Moor=Gruben. Die Ungeübtheit der Arbeiter, die er zu mancher, ihnen ganz fremden Beschäftigung erst anlernen mußte, sowie der Mangel an guten und geeigneten Werkzeugmaschinen verursachten ihm große Schwierigkeiten, die seine Klugheit und Ausdauer aber alle glücklich zu besiegen wußte. Die Locomotive erhielt einen cylindrischen Kessel von 8 Fuß Länge und 3 Fuß Durchmesser; ein durch den Kessel hindurchgehendes Feuerrohr hatte 20 Zoll Durchmesser. Stephenson brachte zwei verticale Dampfcylinder — von 8 Zoll Durchmesser und 2 Fuß Hublänge — an, wie dies auch schon Blenkinshop auf Anrathen des tüchtigen Mechanikers Murray gethan hatte. Die Maschine hatte vier glatte Räder und es gehörte zu je einer Achse einer der beiden auf dem Kessel, vertical über der Achse angebrachten Dampfcylinder. Die beiden Achsen standen durch ein Paar Kettenräder unter einander in Verbindung. Auf Federn ruhte die Maschine noch nicht. Am 25. Juli 1814 wurde diese Locomotive zuerst auf dem Killingworther Schienenwege versucht. Bei einer Neigung desselben von $^1/_{450}$ vermochte sie eine Last von 600 Centner mit einer Geschwindigkeit von nahe einer Meile in der Stunde fortzuschleppen. Die Kosten des Transportes mittelst dieser Locomotive stellten sich während des ersten Jahres ebenso hoch, als die des Transportes durch Pferde. Dieses wenig günstige Verhältniß wurde zum größten Theile dadurch herbeigeführt, daß die Maschine sich nur mit sehr mäßiger Geschwindigkeit fortbewegte. Und eine Beschleunigung ihres Laufes ließ sich nicht erreichen, so lange der Kessel nicht eine größere Dampfmenge zu produciren vermochte. Auf dem Wege einer bedeutenden Vergrößerung desselben war dies aber nicht zu erlangen. Dagegen versprach ein lebhafteres Anfachen des Feuers guten Erfolg; die hierzu gebräuchlichen mechanischen Vorrichtungen, Blasebalg oder Ventilator waren aber in diesem Falle nicht wohl anwendbar. Es wurde denselben eine ebenso schöne als einfache Erfindung substituirt, von der es

sehr wahrscheinlich ist, daß sie Stephenson zugeschrieben werden muß. Die Locomotiven waren anfänglich so construirt, daß der Dampf, nachdem er in den Cylindern gewirkt hatte, unmittelbar in die Luft entwich. Die fragliche Erfindung besteht nun darin, den aus den Cylindern kommenden Dampf durch ein conisches Rohr in den Schornstein zu leiten, wobei er die in demselben enthaltene Luft mit sich fortreißt. In demselben Maße aber, als dadurch im Schornsteine eine Luftverdünnung und ein künstlicher Zug entstehen, muß frische Luft durch den Rost dem Feuer zuströmen. Durch die Anwendung eines solchen Dampfgebläses, welches Stephenson an einer zweiten, von ihm im Jahre 1815 erbauten Locomotive anbrachte, erhöhte er die Geschwindigkeit derselben bereits auf das doppelte derjenigen, welcher seine erste Maschine fähig gewesen war. In Verbindung mit Ralph Dods nahm Stephenson unterm 28. Febr. 1815 ein Patent auf seine zweite Locomotive, an der er noch verschiedene Verbesserungen ausgeführt hatte.

Mehrere von Stephenson erbaute Locomotiven wurden nun in regelmäßigem Dienste auf der Killingworther Kohlenbahn benutzt. Trotzdem sollten noch Jahre vergehen, ehe dieses Beispiel Nachahmung fand, und eine weitere Ausbildung des Eisenbahnwesens zur Folge hatte. Stephenson benutzte diese Zeit, um sich alle hierbei in Frage kommenden Verhältnisse klar zu machen. So suchte er den Widerstand zu bestimmen, der beim Fortbewegen von Wagen auf Eisenbahnen zu überwinden ist, und ermittelte, daß die Reibung zwischen Rad und Schiene unabhängig ist von der Geschwindigkeit beim Fahren. Endlich gewann er schon damals die Ueberzeugung, daß eine Eisenbahn, um die Kraft der Locomotive vortheilhaft verwenden zu können, möglichst eben und horizontal sein müsse. Von der Benutzung von Dampfwagen auf gewöhnlichen Straßen versprach er sich daher mit Recht keinerlei Erfolge. Während Stephenson in der Stille unablässig bemüht war, die Locomotive in Verbindung mit der Eisenbahn zum mächtigsten Verkehrsmittel auszubilden, gewann auch bei andern hellsehenden Köpfen der Gedanke immer mehr Boden, daß durch Erbauung von Schienenwegen eine erfolgreiche Umwälzung aller Transportverhältnisse zu erzielen sein werde. Ein rüstiger Kämpfer für diese Ansicht war namentlich William James, der unaufhörlich dafür Propaganda machte, obgleich keines seiner vielen Projecte zur Ausführung kam.

Für den endlichen Sieg von Stephenson's ganzem Sinnen und Trachten wurde ein Unternehmen von besonderer Bedeutung, welches Eduard Pease von Darlington in die Hand genommen hatte und eifrig betrieb. Dieser beabsichtigte nämlich eine Gesellschaft zusammenzubringen, die einen Schienenweg von den oberhalb Darlington gelegenen Kohlenwerken nach Stockton baue, eine Entfernung von etwa vier preuß. Meilen. Pease hatte viele Mühe, die nöthigen Theilnehmer zu gewinnen, und mußte drei Jahre lang kämpfen, um endlich im Frühling 1821 die Bill durch's Parlament zu bringen, welche den Bau der projectirten Eisenbahn genehmigte. In dem ersten Statut der Gesellschaft war ein Befahren des Schienenweges mit Locomotiven gar nicht vorgesehen; wohl aber war dem Publikum das Recht eingeräumt, die Bahn mit seinen Wagen gegen eine festgesetzte Entschädigung benutzen zu können. Von dem Director der Killingworther Kohlengruben wurde Stephenson Ende 1821 an Pease empfohlen, und nach kurzen Verhandlungen wurde ihm die Oberleitung des Eisenbahnbaues übertragen. Mit unermüdlichem Eifer ging Stephenson an die ihm gestellte Aufgabe; die Gele-

Darlingtoner Eisenbahn.

genheit, nun durch die That die Tüchtigkeit und hohe Bedeutung seiner lange gehegten Pläne und Hoffnungen darthun zu können, suchte er vollständig auszubeuten. Indem er Pease bei einem Besuche in Killingworth von der Leistungsfähigkeit der dortigen Locomotiven überzeugte, veranlaßte er ihn, auch auf der neuen Bahn Locomotiven in Anwendung bringen zu wollen. Nachdem Stephenson die mannigfachsten sich ihm in den Weg stellenden Schwierigkeiten glücklich überwunden hatte, fand die Eröffnung der Stockton-Darlingtoner Eisenbahn am 27. September 1825 statt. Anfänglich wurde die Bahn meist noch mit Pferden befahren, nur zum Ziehen größerer Wagenreihen dienten drei Locomotiven. Ein Personenwagen wurde zuerst bloß versuchsweise in Gang gebracht und an Unternehmer verpachtet. Als der Verkehr auf der Bahn aber bald immer größere Dimensionen annahm, sah die Gesellschaft sich genöthigt, denselben ausschließlich in die Hand zu nehmen.

Um diese Zeit beschäftigte sich Stephenson noch mit einem anderen folgenreichen Unternehmen. Er gründete in Gemeinschaft mit Pease und einem anderen Freunde in Newcastle die erste Locomotivenfabrik. Die Anfänge derselben waren sehr bescheiden; Stephenson verwendete darauf 1000 und die beiden anderen Theilhaber je 500 Pfund. In den ersten Monaten des Jahres 1824 begann die Fabrik ihre Thätigkeit.

Bahn von Liverpool nach Manchester.

In demselben Jahre (1821), in welchem der Bau der Darlingtoner Bahn begonnen wurde, geschahen auch die ersten Schritte zu dem Unternehmen, durch welches unser heutiges Eisenbahnwesen gleichsam ins Leben gerufen wurde. Für den Waarentransport zwischen Liverpool und Manchester dienten zwei Kanäle, welche aber dem ungeheuer angewachsenen Verkehre zwischen diesen Städten nicht mehr genügen konnten. Es entstanden daraus sowohl für den Handel wie für die Fabriken die empfindlichsten Nachtheile, deren Beseitigung zuletzt zu einer Lebensfrage für beide Städte wurde. Ein dritter Kanal konnte nicht gebaut werden, da keine Wasser zu dessen Speisung vorhanden waren. Man kam daher auf den Gedanken, ein Schienenweg würde wohl das geeigneteste Mittel sein. Der schon oben erwähnte James ging nach Liverpool, um Freunde für diese Idee zu werben. Es traten dort auch einige Männer zusammen, welche sich der nöthigen Vorarbeiten unterziehen wollten. Eine leichte Aufgabe war dies durchaus nicht. Die Gutsbesitzer suchten die mit der Vermessung der Linie beauftragten Geometer auf jede Weise hieran zu hindern, und gingen sogar bis zu offener Gewaltthätigkeit über. Nur mit großer Mühe kam eine Aufnahme zu Stande. Unterdessen hatte eine Commission in Killingworth die Stephenson'schen Locomotiven besichtigt, und glaubte in deren Erbauer den rechten Mann für ihr Unternehmen gefunden zu haben. In Liverpool bildete sich nun eine Gesellschaft, welche eine Eisenbahn nach Manchester bauen wollte. Dem Parlamente konnten im Frühjahre 1825 die Pläne und Anschläge vorgelegt werden, auf Grund deren eine den Bau der Bahn gestattende Bill nachgesucht wurde. Vor dem Parlaments-Ausschuß wurde das Project von Stephenson und einigen ihm beigegebenen tüchtigen Juristen vertheidigt. Die Kanalgesellschaften ließen dasselbe durch die besten Ingenieure und Rechtsgelehrten angreifen, und als ganz absurd und unausführbar hinstellen. Von einer Locomotive eine Geschwindigkeit von $2^1/_2$ Meilen in der Stunde zu erwarten, wurde für eine Chimäre erklärt. Obgleich Stephenson seine Pläne mannhaft vertheidigte, so verwarf doch der Ausschuß mit 19 gegen 13 Stimmen das

Gesuch der Gesellschaft, worauf diese dasselbe einstweilen zurückzog. Aber schon im nächsten Jahre stellte sie es von neuem, und ließ es jetzt durch die berühmten Ingenieure Georg und John Rennie vertreten, da Stephenson's Name noch keinen solchen Klang hatte, daß er als genügend großes Gewicht hätte in die Wagschaale gelegt werden können. Die Bill, durch welche die Liverpool-Manchester Eisenbahngesellschaft genehmigt wurde, ging denn auch am 6. März 1826 im Unterhause mit 88 gegen 41 Stimmen durch; ihre Auswirkung hatte aber nicht weniger als 27000 Pfund gekostet. Sofort ernannte jetzt die Gesellschaft Stephenson zum Oberingenieur des ganzen Baues und setzte ihm ein Gehalt von 1000 Pfund aus. Stephenson verlegte nun seinen Wohnsitz nach Liverpool, und begann bereits im Juni mit den Arbeiten. Er fing mit der Bahnstrecke an, die er bei Liverpool über das Chat-Moor führen wollte. Dieses Vorhaben wurde wegen der Beschaffenheit des Moores für ein unmögliches erklärt, aber Stephenson's Genie wußte für Alles Mittel und Wege zu schaffen, und bald konnte er seine Gegner durch die vollendete Thatsache von ihrem Irrthume überzeugen. Stephenson's Thätigkeit war in dieser Zeit eine wahrhaft riesenhafte. Auf der ganzen Bahnstrecke waren 63 Brücken und Durchlässe zu bauen, außer dem großen Sankey Viadukt, der in 70 Fuß Höhe mit neun, 50 Fuß weiten Bogen über den Sankey-Kanal hinwegführte. Ein großer, 2000 Fuß langer Tunnel mußte dicht vor Liverpool angelegt werden. Bedenkt man nun, daß vorher niemals eine derartige Eisenbahn gebaut worden war, so wird man die außerordentlichen Schwierigkeiten ermessen können, welche Stephenson zu überwinden hatte.

Als der Bahnbau schon ziemlich weit fortgeschritten war, hatten die Direktoren noch immer keinen Entschluß darüber gefaßt, wie der Transport auf der Bahn betrieben werden solle. Nur das stand fest, daß man keine Pferde, sondern Dampfkraft verwenden wolle. Ob letztere aber mittelst Seilen und stehenden Maschinen, oder aber mittelst Locomotiven zu benutzen sei: darüber waren die Ansichten sehr getheilt. Für die erstere Art waren die meisten Techniker, und namentlich auch die Herren Walker und Rastrick, damals zwei der besten englischen Ingenieure, welche die Direktoren der Gesellschaft zu einem Gutachten aufgefordert hatten. Stephenson trat für die Locomotive fast ganz allein ein; aber da er deutlich erkannte, daß jetzt der Zeitpunkt gekommen sei, wo dieselbe sich Bahn brechen, und er selbst sein großes Ziel erreichen müsse, so ließ er mit seiner Fürsprache nicht nach, bis die Direktoren sich wenigstens dazu entschlossen, einen Preis von fünfhundert Pfund für die beste Locomotive auszuschreiben. Letztere sollte auf horizontaler Bahn eine Last von 400 Centner, bei einer Geschwindigkeit von zwei preuß. Meilen in der Stunde fortziehen. Dabei dürfe die Maschine nicht über 120 Centner wiegen und nicht über 550 Pfund kosten. Die Proben sollten am 1. October 1829 stattfinden. Natürlich bot Stephenson Alles auf, um eine Locomotive herzustellen, die diesen Anforderungen entsprach. In seiner Fabrik in Newcastle, deren Leitung er gegen Ende des Jahres 1827 seinem Sohne Robert übertrug, wurde der Bau der „Rakete" begonnen. Vater und Sohn wetteiferten darin, in dieser Locomotive etwas möglichst Tüchtiges zu leisten. Die wichtigste Neuerung an derselben bestand in der Anwendung eines Röhrenkessels (vergl. S. 310), eine Idee, die damals fast gleichzeitig bei verschiedenen Ingenieuren auftauchte, und welche der französische Ingenieur Seguin zuerst ausgeführt zu

haben scheint. Der Röhrenkessel in Verbindung mit dem Dampfgebläse machte eine außerordentliche Steigerung der Dampfproduktion und damit der Geschwindigkeit der Locomotive möglich.

Am 6. October 1829 begann zu Rainhill, auf einer bereits fertigen Bahnstrecke, ein noch nie gesehenes Schauspiel: ein Wettkampf der vier dazu gelieferten Locomotiven. Tausende von Menschen, und darunter die ersten Ingenieure des Landes, hatten sich dazu eingefunden. Stephenson erntete den vollen Lohn für sein beharrliches Streben: seine „Rakete“ blieb Siegerin, indem sie nicht nur das Geforderte, sondern noch weit mehr als dieses leistete. So vermochte sie ohne Ladung mit einer Geschwindigkeit von sieben Meilen in der Stunde zu fahren, also eben so rasch, als unsere heutigen Schnellzüge.

Die feierliche Eröffnung der ganzen Bahn von Manchester nach Liverpool fand am 15. September 1830 statt. Dieselbe wurde von ganz England als ein Ereigniß von großer Wichtigkeit betrachtet. Am Eröffnungstage bewegten sich acht einander folgende Züge auf der Bahn, deren jedem eine Stephenson'sche Locomotive vorgespannt war. Vor den beiden ersten Zügen befanden sich der „Northumbrian“ und der „Phönix“, welche von Georg und Robert Stephenson selbst geführt wurden. Letzterer widmete seine Thätigkeit nun zunächst der weiteren Vervollkommnung der Locomotive. Aus der von ihm geleiteten Newcastler Fabrik ging noch vor Ende des Jahres 1830 der „Planet“ hervor. Diese Locomotive war in ihren wesentlichen Theilen bereits so gebaut, daß sie gleichsam das Vorbild für unsere heutigen Locomotiven geworden ist. Sie hatte einen $6\frac{1}{2}$ Fuß langen Röhrenkessel von 3 Fuß Durchmesser, an welchen der Feuerkasten angeniethet, und nicht, wie bei den älteren Locomotiven, blos angeschraubt war. Die gesammte Heizfläche des Feuerkastens und der Rauchröhren betrug 407 Quadratfuß. Die beiden horizontal liegenden Dampfcylinder von 11 Zoll Durchmesser und 16 Zoll Kolbenschub waren unter dem Rauchkasten angebracht. Die zwei Schubstangen wirkten auf eine doppelt gekröpfte Kurbelachse, auf welcher die Triebräder von 5 Fuß Durchmesser saßen.

Die Größe der Zugkraft, welche eine Locomotive auszuüben vermag, ist — eine genügende Stärke des Dampfdruckes auf die Kolben vorausgesetzt — durch die Größe des Druckes begrenzt, mit welchem diejenigen Räder gegen die Schienen gepreßt werden, deren Umdrehung durch die Schubstangen bewirkt wird. Das Rollen der Triebräder auf den Schienen und damit das Fortbewegen der Locomotive ist nur so lange möglich, als der Widerstand, den die Maschine zu überwinden hat, kleiner ist, als die gleitende Reibung zwischen den Triebrädern und Schienen. Wächst jener Widerstand über den Betrag dieser Reibung hinaus, so können die Triebräder durch die Dampfkraft wohl noch umgetrieben werden, aber es gleiten dann die Räder auf den Schienen und die Locomotive selbst bleibt stehen. Es ist daher sehr wesentlich, diesen Reibungsbetrag möglichst groß zu erhalten. Um dieses zu bewirken, muß ein möglichst großer Theil des ganzen Gewichtes der Locomotive auf den Triebrädern lasten. Ist hierfür die durch andere Verhältnisse bedingte Grenze erreicht, ohne daß dadurch der gewünschte Reibungsbetrag erlangt wäre, so giebt es noch ein einfaches Mittel, die hier in Frage kommende Reibung zwischen den Rädern und Schienen zu erhöhen. Man braucht zu dem Ende nur die anderen Räder der Locomotive, entweder sämmtlich oder nur einen Theil derselben, durch Kuppelstangen so

mit den eigentlichen Triebrädern zu verbinden, daß sie hierdurch gleich diesen von der Dampfkraft umgedreht werden. Auf diese Weise kann man nöthigenfalls das ganze Gewicht der Locomotive dazu benutzen, um ihr Zugvermögen zu erhöhen. Von besonderem Werthe ist diese Einrichtung namentlich für solche Maschinen, welche Güterzüge zu schleppen haben. Als erste Locomotive mit gekuppelten Rädern wurde (1831) von Stephenson für die Liverpooler Bahn der „Simson“ geliefert.

Durch die Eröffnung und den Betrieb der Liverpool-Manchester'er Bahn war das, was wir heute unter einer Eisenbahn verstehen, eine Thatsache geworden, und zwar eine solche, welche selbst die kühnsten Erwartungen derjenigen weit übertraf, die auf das neue Transportmittel große Hoffnungen gesetzt hatten. War Stephenson einige Jahre früher fast allgemein für einen Narren gehalten worden, als er mit seiner Locomotive eine Geschwindigkeit von 2 Meilen glaubte erreichen zu können, so mußte sich jetzt Jeder mit eigenen Augen überzeugen, daß ganze Wagenreihen mit Personen und Gütern 5 preuß. Meilen in der Stunde zurücklegten. Nach der Eröffnung der Bahn blieb Stephenson noch einige Zeit in Liverpool wohnen, wo seine Sorge besonders der Vervollkommnung der Betriebsmittel galt. Er betrachtete von Anfang an die Locomotive und die Bahn als ein zusammengehörendes Ganzes, und bezeichnete sie oft scherzweise als „Mann und Weib“. Die allmählig schwerer werdenden Locomotiven verlangten auch stärkere Schienen, so daß Stephenson sich genöthigt sah, die anfänglichen Schienen auf der Liverpooler Bahn nach kurzer Zeit gegen andere auszuwechseln.

Zur Nutzbarmachung der neuen Erfindung betraten die Engländer den gleichen Weg, der ihnen die Ausführung schon so manchen großen Unternehmens möglich gemacht hatte. Sie bildeten Actien-Gesellschaften, um so durch die Vereinigung vieler kleinen Kapitalien die großen Geldmittel zu beschaffen, welche der Bau von Eisenbahnen erfordert. Zunächst wurden zwei Bahnen gebaut, welche sich an die von Liverpool nach Manchester anschlossen, nämlich von letzterem Orte nach Leeds und nach Birmingham. Im Anfang des Jahres 1830 tauchte auch der Plan auf, eine Bahn von Birmingham nach London zu bauen. Es bildeten sich zwei Comités, wovon das eine, dessen Ingenieur Rennie war, über Oxfort bauen, während das andere auf den Vorschlag von Francis Giles die Bahn über Coventry führen wollte. Zur Schlichtung dieser Streitfrage wurde George Stephenson als Schiedsrichter erwählt; nach einer genauen Prüfung aller einschlagenden Verhältnisse entschied er für die Coventry-Linie, welche denn auch angenommen wurde. Man wünschte nun Stephenson für die Oberleitung des Baues zu gewinnen, ihm aber gleichzeitig einen anderen Ingenieur beizugesellen, mit dem er schon bei früheren Gelegenheiten mehrfach in Conflict gerathen war. Auf diesen Vorschlag gab Stephenson nach Rücksprache mit seinem Sohne Robert die kurze Antwort: „Alles — oder Nichts.“ Ein Stephenson durfte so sprechen, das fühlten auch die Directoren der fraglichen Gesellschaft, und sie zögerten deshalb auch nicht, ihn zu ihrem Ober-Ingenieur zu ernennen, in welcher Stellung sein Sohn ihn unterstützen sollte.

Wenn auch der Handelsstand und die Industriellen die Eisenbahnen im Allgemeinen mit Jubel begrüßten und auf das thatkräftigste förderten, so gab es im Lande doch immer noch manche Interessen, die sich durch die

neue Erfindung auf das empfindlichste bedroht glaubten. Besonders waren es die großen Grundbesitzer und die Mitglieder der Kanal- und der Chaussée-bau-Gesellschaften, welche noch längere Zeit ihren ganzen mächtigen Einfluß aufboten, um die neuen Eisenstraßen nicht aufkommen zu lassen. Sie konnten dies um so leichter, als sie im Parlamente über viele Stimmen verfügten, und in England eine Eisenbahn nur auf Grund eines besonderen, von beiden Häusern angenommenen Gesetzes gebaut werden darf. In den dreißiger Jahren erlebte man in England mehr als einmal das uns jetzt sonderbar vorkommende Schauspiel, daß Städte Freudenfeste feierten, wenn es ihnen gelungen war, eine Eisenbahn von sich entfernt zu halten. Dieser Jubel schlug freilich meist sehr bald in lautes Verlangen nach Anschlußbahnen um.

London-Birminghamer Bahn.

Bei Feststellung und Vermessung der London-Birminghamer Bahn hatte Stephenson wieder mit ähnlichen Schwierigkeiten zu kämpfen, wie früher bei der Liverpooler Bahn. Die Geometer konnten ihre Arbeiten nur heimlich und verstohlen ausführen. Aber durch Muth und Ausdauer wurde es trotz aller Hindernisse dennoch möglich gemacht, zu Anfang des Jahres 1832 dem Parlamente die fertigen Pläne vorlegen zu können. Das Unterhaus bewilligte auch den Bau der Bahn, das Oberhaus dagegen verwarf ihn. Die Gesellschaft vermochte den Widerstand des letzteren im folgenden Jahre nur dadurch zu besiegen, daß sie die unverhältnißmäßigen Ansprüche, welche verschiedene Lords für die Abtretung von Grundstücken erhoben, befriedigte. Im Jahre 1833 konnte der Bau endlich beginnen. Stephenson hatte in der Leitung desselben eine große Aufgabe auf seine Schultern genommen, aber wie Alles, was er bisher begonnen hatte, so führte er auch dieses Unternehmen auf bewundernswerthe Weise zu einem glücklichen Ende. Am 17. September 1838 wurde die 22 preuß. Meilen lange Bahn, die ein Anlage-Capital von 33 Millionen Thaler erfordert hatte, dem Verkehre übergeben.

Kurze Zeit nach Beendigung der Liverpooler Bahn kaufte Stephenson in Verbindung mit zwei Freunden das drei Meilen von Leicester gelegene Snibstoner Gut, unter dessen Boden sich, wie sein Sohn Robert vermuthete, Kohlen finden müßten. Diese Vermuthung erwies sich als vollkommen begründet; Stephenson legte ein großes Kohlenbergwerk an, dessen Ausbeute er auf der von Swannington nach Leicester führenden Bahn nach letzterem Orte versandte. Hier fielen in Folge dessen die Kohlenpreise so bedeutend, daß der dadurch den Einwohnern entstehende Gewinn dem ganzen Steuerbetrage der Stadt gleichkam. — Im Jahre 1838 kaufte Stephenson den in der Nähe von Chesterfield liegenden Landsitz Tapton-house, den er bis an sein Lebensende bewohnte. Gleichzeitig pachtete er das seinem neuen Wohnsitze benachbarte Kohlenbergwerk zu Clay-Croß. Ein Berg von Arbeit, der die meisten Menschen unter seiner Last erdrückt haben würde, scheint für Stephenson noch kaum ein genügendes Gegengewicht für seine Unternehmungslust und Thatkraft gewesen zu sein. Wenigstens sehen wir ihn im Jahre 1841 noch ein neues Unternehmen beginnen: die Anlage einer großartigen Kalkbrennerei in der Nähe der Ambergate-Station an der Midlandbahn. Die Kalköfen vermochten bei vollem Betriebe täglich 4000 Ctr. gebrannten Kalk zu liefern.

Auf so großen Widerstand Stephenson auch bei der ersten Durchführung seiner Pläne bei den englischen Ingenieuren gestoßen war, so konnte es doch

nicht ausbleiben, daß dieselben, sobald sie durch die großen Erfolge der neuen Erfindung eines Besseren belehrt waren, nun auch ihrerseits sich an dem Bau von Eisenbahnen betheiligten. Den vereinten Anstrengungen so Vieler hatte das Eisenbahnwesen bald manche Verbesserungen zu danken, aber es wurden auch mancherlei Vorschläge und Aenderungen hervorgerufen und durchgeführt, die sich weniger aus sachlichen Gründen, als aus einer gewissen Neuerungssucht und einem Streben nach Originalität erklären lassen. Stephenson befolgte stets den so richtigen Grundsatz, niemals ohne triftige Gründe von dem einmal als richtig und gut Erkannten abzugehen. Zu dem von ihm beim Eisenbahnwesen als richtig Erkannten rechnete er besonders die Maxime, die Bahn mit so schwachen Steigungen zu bauen, als es die Verhältnisse nur immer erlaubten. Dadurch entstehende Mehrkosten beim Bau, oder nöthig werdende Umwege, hielt er für ein kleines Uebel, gegenüber dem Umstande, daß die Last, welche eine Locomotive auf horizontaler Bahn zu schleppen vermag, so außerordentlich viel größer ist, als diejenige, welche sie selbst sehr schwach geneigte Strecken hinauf bewegen kann. Manche Ingenieure waren hierin anderer Meinung als Stephenson. Aber die Erfahrung hat letzterem Recht gegeben, indem sie gezeigt hat, daß für Bahnen, auf denen große Massen transportirt werden sollen, Nichts so nachtheilig ist, als ungünstige Steigungsverhältnisse. — Auch die von Stephenson angenommene Spurweite von 4′ $8^1/_2$″ engl. wurde von Einzelnen als zu gering gehalten, und namentlich wandte Brunel bei der von ihm gebauten, von London nach Bristol führenden Great-Western-Bahn eine Spurweite von 6 Fuß an. Die großen Uebelstände, die entstehen, wenn Bahnen, die gemeinschaftlich demselben Verkehre dienen sollen, mit verschiedenen Spurweiten angelegt sind, haben zur Adoptirung einer einzigen, und zwar der von Stephenson anfänglich angewandten Spurweite geführt.

In dem verhältnißmäßig sehr kurzen Zeitraume von noch nicht zwanzig Jahren entstand in England ein über das ganze Land sich erstreckendes Eisenbahnnetz. Georg Stephenson, sowie sein Sohn Robert nahmen an dem Bau desselben den lebhaftesten und thätigsten Antheil. Als die Anlage der belgischen Eisenbahnen beschlossen war, wurde Stephenson mehrere Male nach Belgien berufen, um dem wichtigen Unternehmen seine reichen Erfahrungen zu Gute kommen zu lassen. Zu ähnlichem Zwecke machte er im Jahre 1845 eine Reise nach Spanien. Von einer Krankheit, die ihn auf dem Rückwege von dort befiel, konnte er sich nie wieder ganz erholen. Die letzten Jahre verlebte Stephenson meist in Tapton-house, wo er der Liebe zur Natur, welche er sich von den Knabenjahren an durch sein viel bewegtes Leben hindurch gerettet und bewahrt hatte, in vollem Maße nachgeben konnte. Stephenson war in jeder Hinsicht ein bedeutender Character und ein edler Mensch. Alles Herbe und Schwere, woran das Leben es bei ihm gewiß nicht hatte fehlen lassen, hatte ihn nicht zu verbittern, ja seinen fröhlichen Muth nicht einmal anzutasten vermocht. Und ebenso hatten die glänzenden Erfolge seiner späteren Jahre keinen Stolz oder Hochmuth bei ihm erzeugt. Sein Herz war ebenso treu und offen, und schlug allem Guten ebenso warm entgegen, als sein Geist ruhig und klar war, und das Wahre stets als solches erkannte und daran festhielt. Nach kurzer Krankheit starb Georg Stephenson am 12. August 1848.

Robert Stephenson.

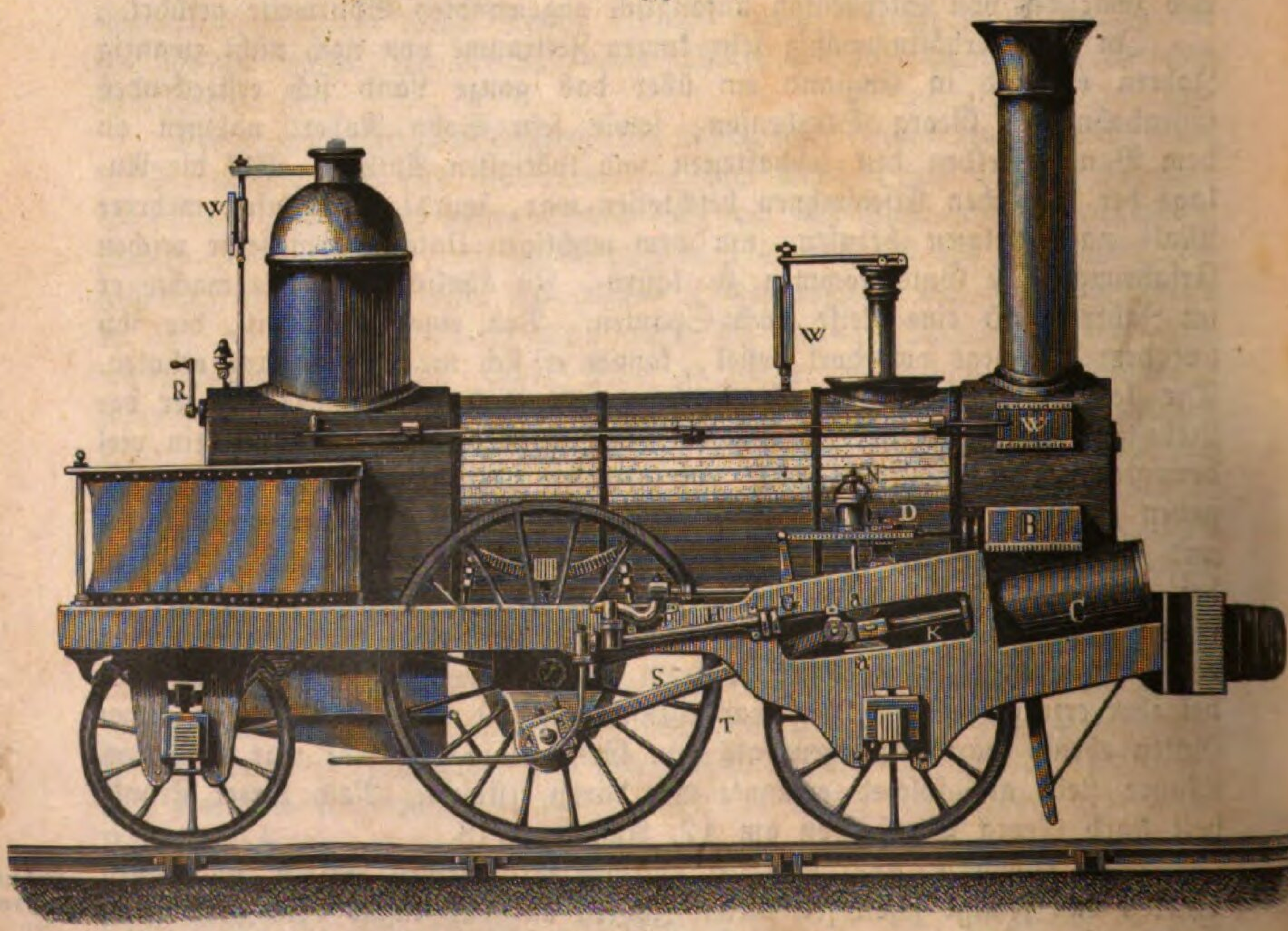
Sein Sohn Robert war der würdige Erbe seines Vaters, mit dessen Wirken das seinige schon seit vielen Jahren auf das engste verbunden war.

Auch er verdiente als Mensch mindestens ebensoviel Liebe und Achtung, wie als Ingenieur Anerkennung und Bewunderung. Unter seiner Leitung war aus den kleinen Anfängen der Newcastler Fabrik eine der bedeutendsten Maschinenfabriken Europa's geworden. Mit der Erbauung der so genial projectirten Britannia-Brücke, sowie mit derjenigen der größten Brücke der Welt, der über den St. Lorenzostrom in Nord-Amerika, ist der Name Robert Stephenson auf ruhmvolle Weise verknüpft. Leider sollte er die Vollendung des letzteren Werkes nicht mehr erleben. Robert Stephenson folgte am 22. October 1859 seinem ihm nur um 11 Jahre vorangegangenen Vater in die Ewigkeit nach. Beide, Vater und Sohn, sind es in hohem Grade werth, daß ihnen von Jedem eine herzlich dankbare Erinnerung gezollt werde, der an den Segnungen Theil nimmt, die das von ihnen begründete Eisenbahnwesen tagtäglich über ganze Länder verbreitet.

Zum Schlusse dieses Aufsatzes möge noch der Versuch gemacht werden, mit Hülfe einiger Zeichnungen die Haupteinrichtung einer Locomotive zu verdeutlichen, wie sie jetzt zum Befördern von Personenzügen gebraucht wird.

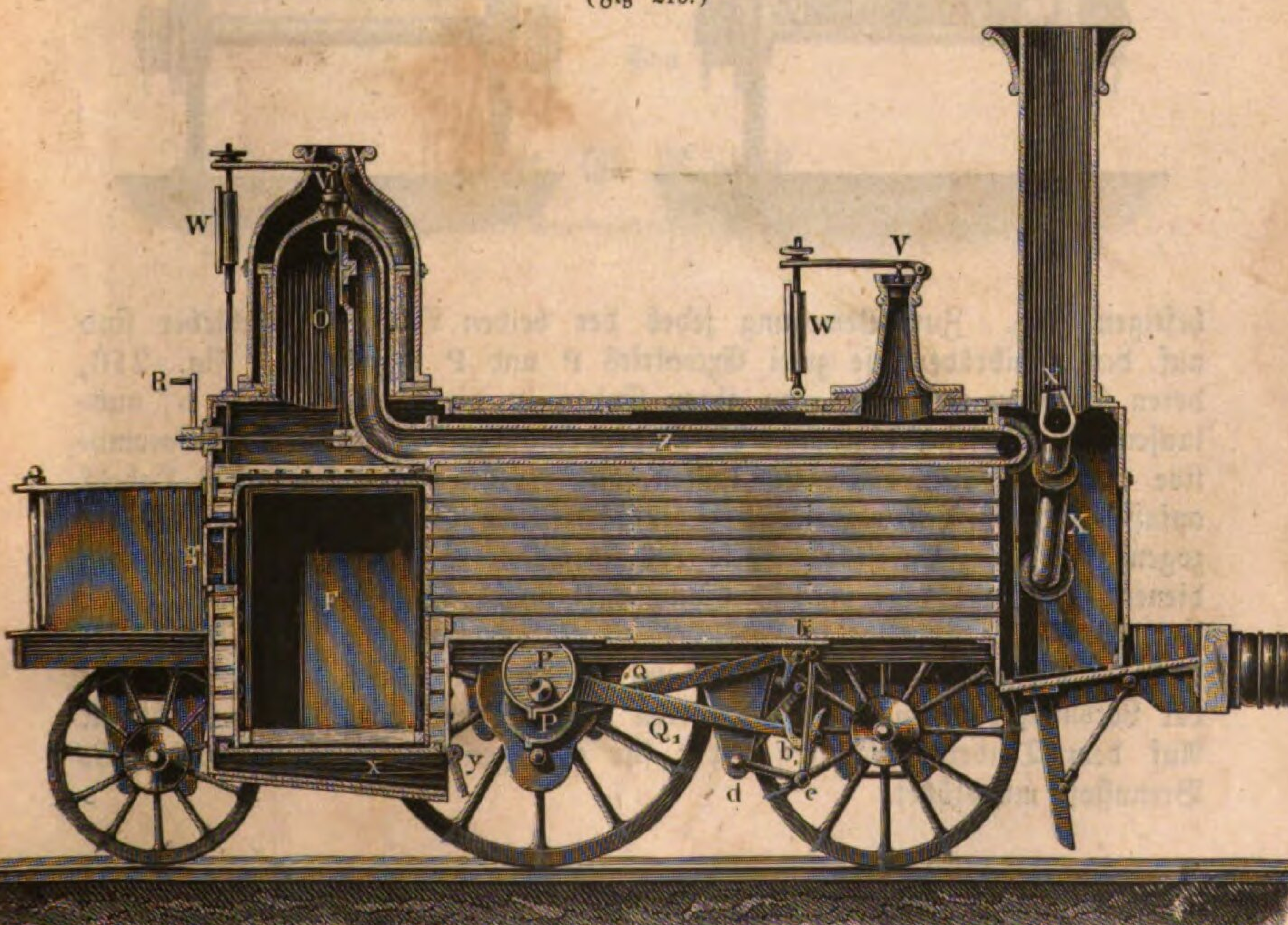
Bei jeder Locomotive sind drei Hauptheile zu unterscheiden: das Gestell mit den Achsen und Rädern, der Kessel und die eigentliche Dampfmaschine. Das im Grundriß rechteckige Gestell ist aus starkem Eisenblech zusammengesetzt; an demselben sind die Lager angebracht, mittelst deren zunächst das Gestell und weiter die ganze Locomotive auf den Zapfen der Räderachsen aufruht. Die vorliegende Locomotive hat drei Räderpaare, Fig. 215, von denen die beiden äußeren nur zum Unterstützen dienen, während das mittlere das Treibräderpaar ist, welches von der Dampfkraft in

(Fig. 215.)



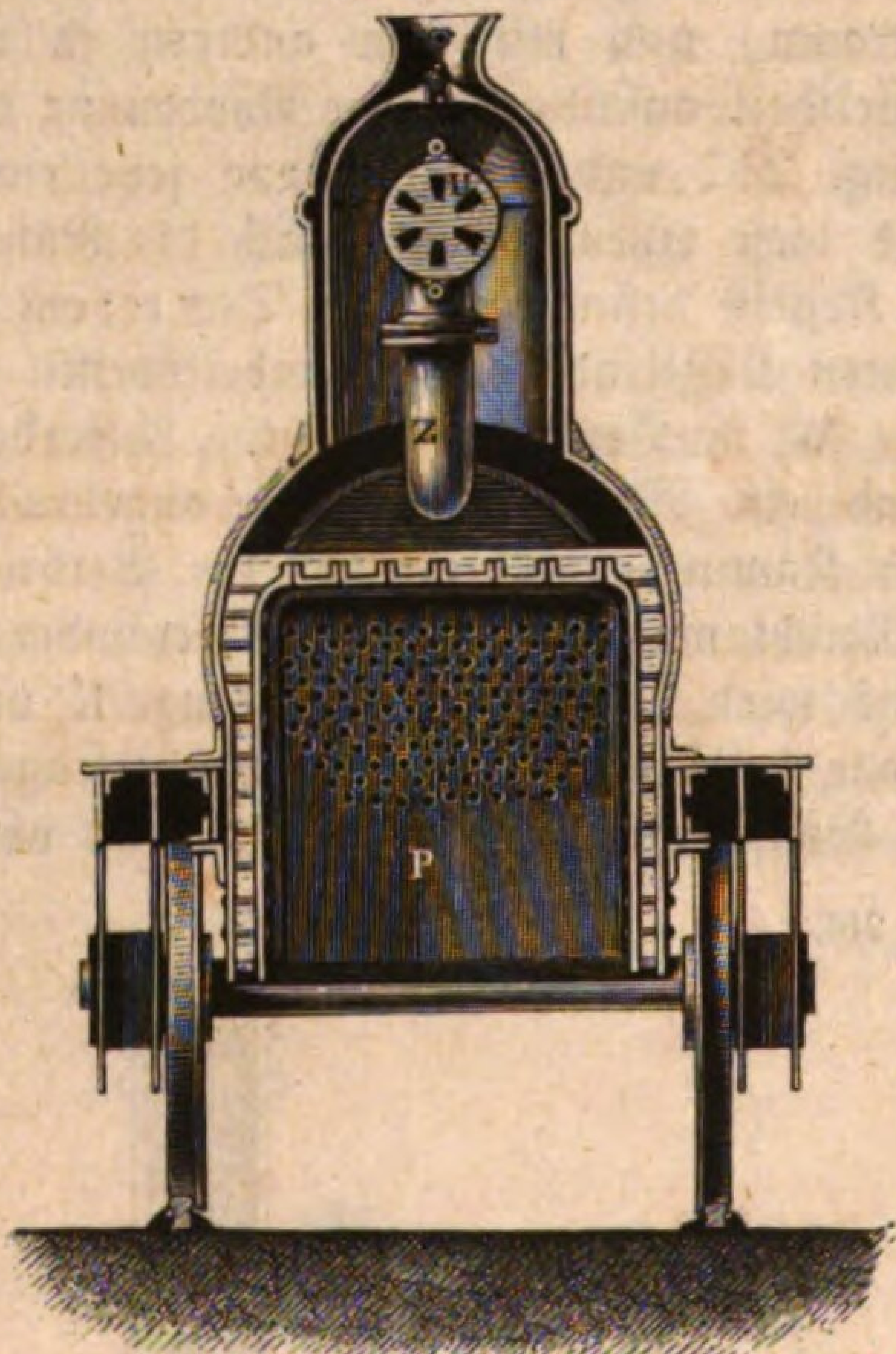
Umdrehung gesetzt wird. Der Kessel, der sich auf die Langseiten des Gestelles stützt, besteht aus einem kastenförmigen und aus einem sich an diesen anschließenden cylindrischen Theil; jener enthält den Feuerraum, dieser eine große Zahl von Rauchröhren. Fig. 216 zeigt einen Längendurchschnitt der Maschine. Man sieht hier den unten durch den Rost abgeschlossenen Feuerraum F; unter demselben befindet sich der Aschenfall x, an dem vorne eine zur Regulirung des Zuges dienende Klappe y angebracht ist. g ist die Thüre, durch welche das Brennmaterial auf den Rost geworfen wird. Der Feuerraum wird in einem kleinen Abstand von dem kastenförmigen Theil des Dampfkessels umgeben; die seitlichen Zwischenräume zwischen beiden sind mit Wasser gefüllt, welches auch die obere Decke des Feuerraumes bedeckt. Die durch den cylindrischen Theil des Kessels hindurchgehenden Rauchrohre münden mit ihrem einen Ende in den Feuerraum, und mit dem anderen in die Rauchkammer, welche sich an jenen Kesseltheil anschließt. Die Anordnung der Rauchröhren ersieht man aus den Fig. 217 und 218, wovon jene einen Querschnitt durch den Feuerkasten, und diese einen solchen durch die Rauchkammer zeigt. Am hinteren Ende des Kessels befindet sich der Dampfdom O, und sowohl auf diesem, wie am vorderen Kesselende ein Sicherheitsventil V, von denen jedes mit einer Federwage W in Verbindung steht. Außerdem sind am Kessel noch Probirhähne und ein Wasserstandszeiger angebracht. Auf der Rauchkammer steht ein kleiner Kamin zur Abführung der Verbrennungsgase. — Zu jeder Seite der Rauchkammer ist ein Dampfcylinder C angebracht; die Bewegung des Kolbens wird durch die Kolbenstange K und die Schubstange S auf den am Treibrade befestigten Kurbelzapfen übertragen. Ueber dem Cylinder befindet sich das Schiebergehäuse B. Durch das oben

(Fig 216.)

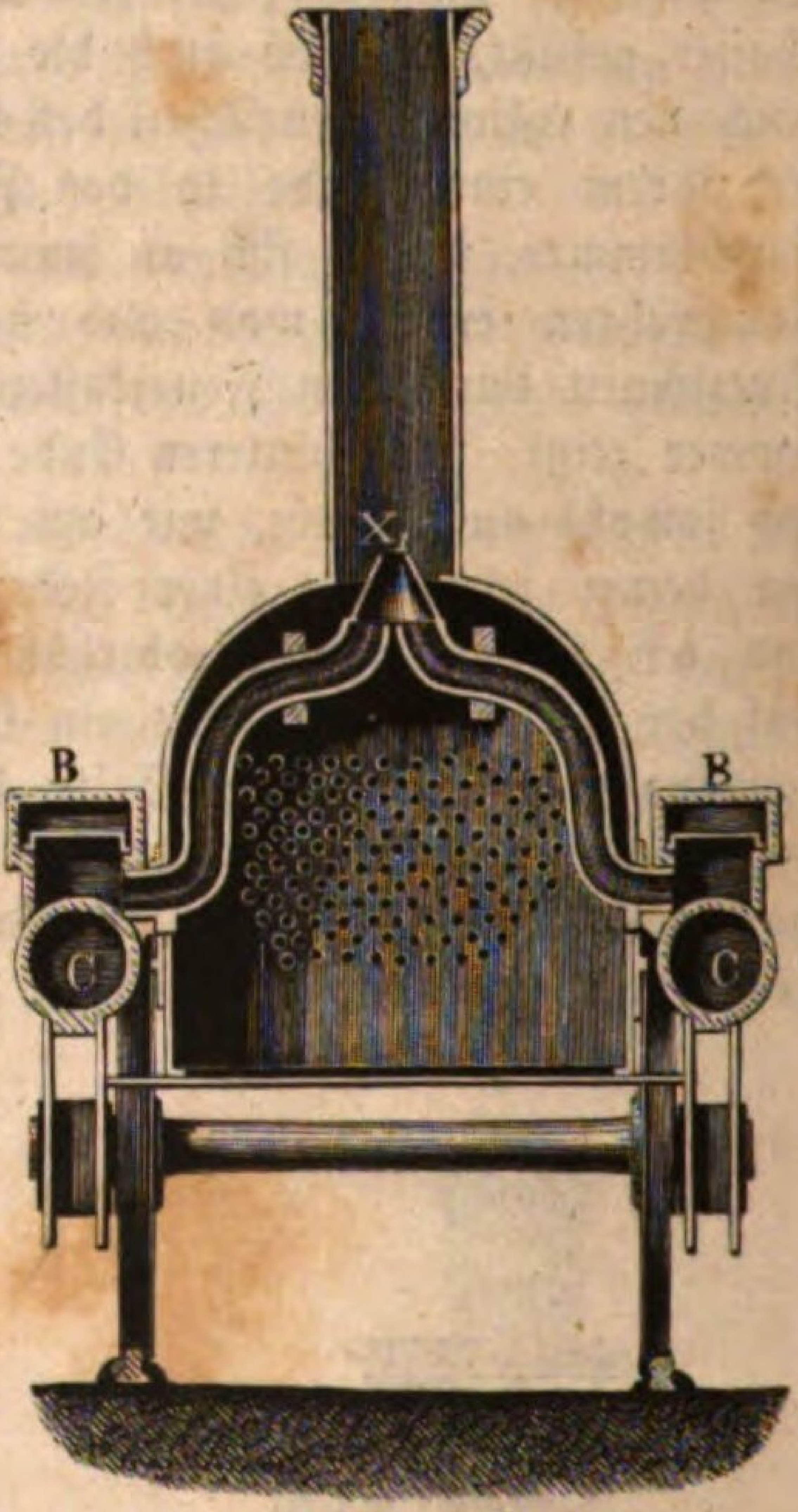


im Dampfdom mündende, durch den ganzen cylindrischen Kesseltheil hindurchgehende und sich in der Rauchkammer in zwei Zweige spaltende Rohr Z wird der Dampf den Cylindern zugeführt. Durch Drehung der vor der Mündung des Rohres Z befindlichen, durchlöcherten Scheibe (Fig. 217) kann der Dampfzutritt zu den Cylindern gestattet oder abgesperrt werden. Die Drehung dieser Scheibe geschieht mittelst des Hebels R, des sogenannten Regulators. Der aus den Cylindern austretende Dampf entweicht durch die Rohre X, Fig. 216 und 218, in den Kamin, und bewirkt hierdurch einen

(Fig. 217.)



(Fig. 218.)



heftigen Zug. Zur Bewegung jedes der beiden Vertheilungsschieber sind auf der Treibräderachse zwei Excentrics P und P angebracht, Fig. 216, deren Stangen Q und Q, an ihren Enden in die Gabeln b und b, auslaufen. Von diesen läßt man die eine oder andere, je nachdem die Locomotive vorwärts oder rückwärts laufen soll, an den Endzapfen eines Hebels anfassen, durch dessen Bewegung der betreffende Schieber hin und her gezogen wird. — An jeder Seite des Gestelles ist eine zur Kesselspeisung dienende kleine Saug- und Druckpumpe H angebracht, deren Kolben G an dem Kreuzkopfe befestigt ist, welcher die Kolben- mit der Schubstange verbindet. Diese Pumpe saugt aus einem Reservoir, welches auf einem mit der Locomotive verbundenen besonderen Wagen, dem Tender, angebracht ist. Auf dem Tender wird ferner der für eine gewisse Fahrzeit erforderliche Brennstoff mitgeführt.

II.

Electrische Telegraphie, Galvanoplastik, Daguerreotypie und Photographie.

Von

Dr. E. Nauck,

Direktor der Provinzial-Gewerbeschule in Crefeld.

Einleitung.

Die Gegenwart nimmt in culturgeschichtlicher Beziehung eine höchst bedeutungsvolle Stelle ein. Wir stehen an den Pforten einer neuen Zeit. Die schon begonnene Phase in der Entwickelung des Menschengeschlechts ist die Herrschaft des erkennenden Geistes über die Naturkräfte.

Doch „die Natur gehorcht dir nur, wenn du zuvor auf sie gehorcht". Nur durch unzählige sorgfältige Beobachtungen, nur dadurch, daß der Forscher experimentirend der Natur Fragen vorlegte und die mit verschärften Sinnen abgelauschten, zum Theil sehr räthselhaften und complicirten Antworten mit vorurtheilsfreiem Geiste zu entziffern wußte, ist es in vielen Fällen möglich geworden, den Zusammenhang, das Gesetz zu finden, welches auch scheinbar widersprechende Erscheinungen vereinigt; aus den Wirkungen auf die Kräfte zu schließen und sich durch Schlüsse den ewigen Gesetzen zu nähern, durch welche alles Erschaffene regiert wird. Erst hiermit ist die Naturforschung zur Naturwissenschaft geworden.

Ohne den Vorwurf der Unbescheidenheit darf diese jüngste der Wissenschaften in den Kreis ihrer älteren Schwestern als ebenbürtig eintreten; in wenigen Jahrzehnten hat sie die großartigsten Eroberungen gemacht und bereits in allen Verhältnissen der Kunst und Industrie, des Handels und des gesammten Verkehrs einen Einfluß gewonnen, ja eine Umwälzung hervorgebracht, welche in der Geschichte ihres Gleichen nicht hat und deren Endresultate die schwindelnde Phantasie kaum zu fassen vermag.

Raum und Zeit, welche bisher die einzelnen Menschen und die Völker trennten, werden durch die neueren Verkehrsmittel zum Verschwinden gebracht; die Menschheit ist im Begriff, sich zu einem Organismus zu gestalten. Die Zeit ist vielleicht nicht fern, wo alle Länder und Welttheile durch das Zaubernetz der electrischen Telegraphie in unmittelbaren geistigen Verkehr gesetzt sein werden. Wenn durch Eisenbahnen und Dampfschiffe, wie durch Blutgefäße, der materielle Verkehr immer lebhafter pulsirt, so muß das Telegraphennetz, welches bereits den größten Theil der civilisirten Welt umspannt und immer weiter sein Geflecht verzweigt, als das Nervensystem der als

Organismus gedachten Menschheit bezeichnet werden, durch welchen das geistige Leben, die Mittheilung des Gedankens, mit Blitzesschnelle vermittelt wird.

Mittheilung aber ist die Grundbedingung des geistigen Fortschritts. Mit Recht wird die Erfindung der Buchdruckerkunst als der Markstein einer neuen Zeit angesehen; den genannten großartigen Erfindungen der unmittelbaren Vergangenheit muß mindestens eine gleiche culturhistorische Bedeutung zugesprochen werden.

Für Jeden, welcher auf Bildung Anspruch macht, ist es zur unerläßlichen Bedingung geworden, von den in neuester Zeit dem Dienste der Menschheit unterworfenen Kräften, die jetzt das Leben bewegen und umgestalten, eine mehr als oberflächliche Kenntniß zu besitzen. — Hierzu will der nachfolgende Bericht über einige der bedeutenderen und folgenreicheren Anwendungen der Naturkräfte einen Beitrag liefern.

Die electrische Telegraphie.

Frühere Versuche.

Die ungeheure Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Electricität, welche schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Physiker beschäftigte, erweckte den Gedanken, diese geheimnißvolle Kraft zu telegraphischen Zwecken zu benutzen.

Der erste Versuch einer electrischen Telegraphie wurde wahrscheinlich 1774 von dem Genfer Lesage gemacht. Sein Telegraphenmodell bestand aus 24 isolirten Metalldrähten, deren jeder an beiden Enden mit dem nämlichen Buchstaben bezeichnet war. Um einen Buchstaben zu signalisiren, verband man den einen Endpunkt des betreffenden Drahtes mit dem Conductor einer Electrisirmaschine und brachte hierdurch ein Paar Hollundermark-Kügelchen am anderen Ende zur Divergenz. Lesage.

Bétancourt spannte 1798 einen Draht zwischen Madrid und Aranjuez aus und gab die verabredeten Zeichen durch die Entladung Kleist'scher Flaschen; die Bedeutung der Zeichen wurde durch die Zeitintervalle der aufeinander folgenden Entladungen bestimmt. Bétancourt.

Doch konnten diese und ähnliche Versuche, die Reibungselectricität für telegraphische Zwecke zu benutzen, zu keinem genügenden Resultate führen. Die Erregung dieser Kraft ist gar zu sehr von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft abhängig und die Isolirung der Leitungsdrähte schon auf kurze Strecken sehr schwierig, bei einer mäßigen Feuchtigkeit der Atmosphäre aber geradezu unmöglich.

Nach der Entdeckung der Berührungs-Electricität durch Galvani und Volta wurde auch die Benutzung dieser Kraft zum Telegraphiren in Vorschlag gebracht. Sömmering construirte 1807 den ersten galvanischen Telegraphen und stellte denselben im Akademiegebäude zu München auf. Mittelst einer starken volta'schen Säule konnte eine chemische Zersetzung des Wassers und damit eine Gasentwickelung eingeleitet werden in 35 kleinen mit den Buchstaben und Zahlen bezeichneten Fläschchen, welche durch eben so viel lange und isolirte Drähte mit den Polen der volta'schen Säule verbunden wurden. Die hohen Kosten der Drahtleitung und die Schwierigkeit ihrer Isolirung ließen auch diesen Versuch als unausführbar im Großen erscheinen. Sömmering.

Als mit der Entdeckung des Electromagnetismus die Möglichkeit gegeben war, durch den galvanischen Strom in sehr großer Entfernung leicht und sicher eine bedeutende mechanische Kraft zu erzeugen, da konnte die Lösung des Problems der electrischen Telegraphie als sicher betrachtet werden.

Magnetismus und Electricität waren bis zum Jahre 1820 zwei ganz getrennte Kapitel der Physik; doch zeigen die bis dahin bekannten magne-

tischen und electrischen Erscheinungen so viele Analogieen, daß an einen Zusammenhang dieser beiden Kräfte wohl gedacht werden konnte, zumal da wiederholt die magnetisirende Wirkung des Blitzes beobachtet und es auch mehreren Physikern gelungen war, durch den Funken der Electrisirmaschine Stahlnadeln magnetisch zu machen. Dem Genie Oersted's gebührt der Ruhm, den früher geahnten Zusammenhang beider Kräfte entdeckt und nachgewiesen zu haben. Seine Beobachtung, daß beim Schließen und Oeffnen eines galvanischen Stroms eine in der Nähe des Leitungsdrahtes befindliche Magnetnadel in Bewegung gerieth, kann unbedenklich als die wichtigste und folgenreichste des an naturwissenschaftlichen Eroberungen so reichen neunzehnten Jahrhunderts bezeichnet werden; sie hat eine lange Reihe der glänzendsten Entdeckungen zur unmittelbaren Folge gehabt, durch welche die gesammte Naturkenntniß wesentlich gefördert worden ist. Noch in demselben Jahre machte Ampère, welcher die Oersted'sche Entdeckung aus einem allgemeineren Gesichtspunkte betrachtete, der scharfsinnige Begründer der jetzt allgemein angenommenen Theorie des Magnetismus, den Vorschlag eines electromagnetischen Telegraphen, welchen er gemeinschaftlich mit Ritchie im Modell ausführte: den Buchstaben des Alphabets entsprachen eben so viele, mit Multiplikatordrähten (s. Fig. 187. S. 229) umgebene Magnetnadeln. Die Drähte führten zu einer entfernt stehenden galvanischen Batterie, mit deren Polen sie durch ein Tastenwerk in Verbindung gesetzt werden konnten. Das Zeichengeben sowohl als das Ablesen ging leicht und schnell und erforderte eine geringe electromotorische Kraft; jedoch machten die zu bedeutenden Kosten der Leitungsdrähte die Ausführung im Großen unmöglich.

Ampère.

Einen vollkommen ausführbaren Nadeltelegraphen schlug 1832 der russische Staatsrath Baron Schilling von Cannstatt vor. Er wandte nur einen Schweigger'schen Multiplicator und zwei Leitungsdrähte an und bezeichnete die verschiedenen Buchstaben durch die Combination mehrerer Ablenkungen nach rechts und links, indem der Zeichengeber mit einem Stromwender versehen war, durch welchen die Richtung des galvanischen Stroms nach Belieben umgekehrt werden konnte. Diese ganz brauchbare Idee kam jedoch nicht zur Ausführung.

Schilling von Cannstatt.

Den ersten wirklich ausgeführten electromagnetischen Telegraphen erfanden 1833 die Professoren Gauß und Weber in Göttingen. Sie bedienten sich des von Faraday 1831 entdeckten Inductionsstromes (s. S. 234 ff.), welchen sie mittelst eines starken, aus drei Stäben von je 25 Pfund zusammengesetzten Stahlmagneten in einer beweglichen Drahtrolle von 7000 Umwindungen erregten. Zwei Kupferdrähte, über die Thürme und Häuser der Stadt gespannt, verbanden die Sternwarte mit dem physikalischen Kabinet; hier befand sich ein starker Multiplicator mit einem 25 Pfund schweren Magnetstabe, durch dessen Zuckungen nach rechts und links die einzelnen Buchstaben und Zahlen bezeichnet wurden.

Gauß und Weber.

Für die magnetischen und astronomischen Beobachtungen beider Gelehrten genügte dieser electromagnetische Telegraph vollkommen; es galt nun, die Erfindung im Großen praktisch brauchbar zu machen. In dieser Richtung haben vorzugsweise drei Gelehrte sich unsterbliche Verdienste erworben und stehen als die Begründer der jetzigen Telegraphie da: der Professor Steinheil in München, der Engländer Wheatstone und der Americaner Morse. Wir werden auf die wichtigen Entdeckungen und Erfindungen dieser ausgezeichneten Physiker mehrfach zurückkommen.

Die electrische Telegraphie der Gegenwart.

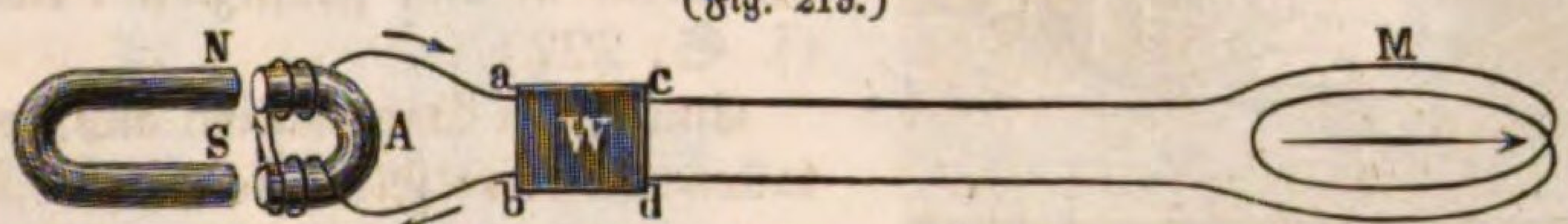
Wir haben in diesem Abschnitte drei Punkte in's Auge zu fassen: die Erzeugung der electromotorischen Kraft, die Leitung und die Zeichengeber oder die telegraphischen Apparate im engeren Sinne.

A. Die Erzeugung des electrischen Stromes.

Gauß und Weber bedienten sich zum Telegraphiren, wie schon erwähnt, des Inductionsstromes, welcher dadurch erzeugt wurde, daß eine Drahtspirale auf das Ende eines großen Stahlmagneten aufgestülpt und von demselben abgezogen wurde. Steinheil hat diese Art der electrischen Erregung mit einer kleinen Abänderung beibehalten. Inductionsstrom.

Betreffs der Entstehung des Inductionsstromes verweisen wir auf das im physikal. Abschnitte S. 234 ff. Gesagte; um die Anwendung dieses Stromes zum Telegraphiren zu verdeutlichen, diene die schematische Fig. 219.

(Fig. 219.)



NS ist ein festliegender Stahlmagnet, A ein mit einem sehr langen und dünnen, gut isolirten Kupferdraht umwickelter Anker von weichem Eisen. Bekanntlich ist weiches Eisen, so lange es sich in der Nähe des Magneten befindet, selbst magnetisch, und zwar steht dem Nordpol N des Stahlmagneten der Südpol des Ankers gegenüber und umgekehrt. Der Anker A kann durch einen Hebel von dem Magneten abgerissen und wieder angesetzt werden. Im Augenblicke des Abreißens hört der Magnetismus des Ankers (ganz oder theilweise) auf und in Folge davon entsteht in dem darum gewickelten Drahte ein Inductionsstrom von äußerst kurzer Dauer, welcher die Richtung der daneben gezeichneten Pfeile hat; ein augenblicklicher Strom von entgegengesetzter Richtung entsteht beim darauf folgenden Wiederansetzen des Ankers.

Führen nun die beiden Drähte nach einer entfernten Station, so wird die Magnetnadel eines dort befindlichen Multiplicators M bei jedem Abreißen des Ankers einen Ausschlag geben und bei dem kurz darauf folgenden Wiederansetzen des Ankers nach der entgegengesetzten Seite ausschlagen. Um nun diese Ausschläge nach rechts und nach links beliebig reguliren zu können, ist auf der Abgangsstation bei W ein Stromwender eingeschaltet, d. i. ein Apparat, der so gestellt werden kann, daß entweder a mit c und b mit d, oder so, daß a mit d und b mit c in leitender Verbindung steht.

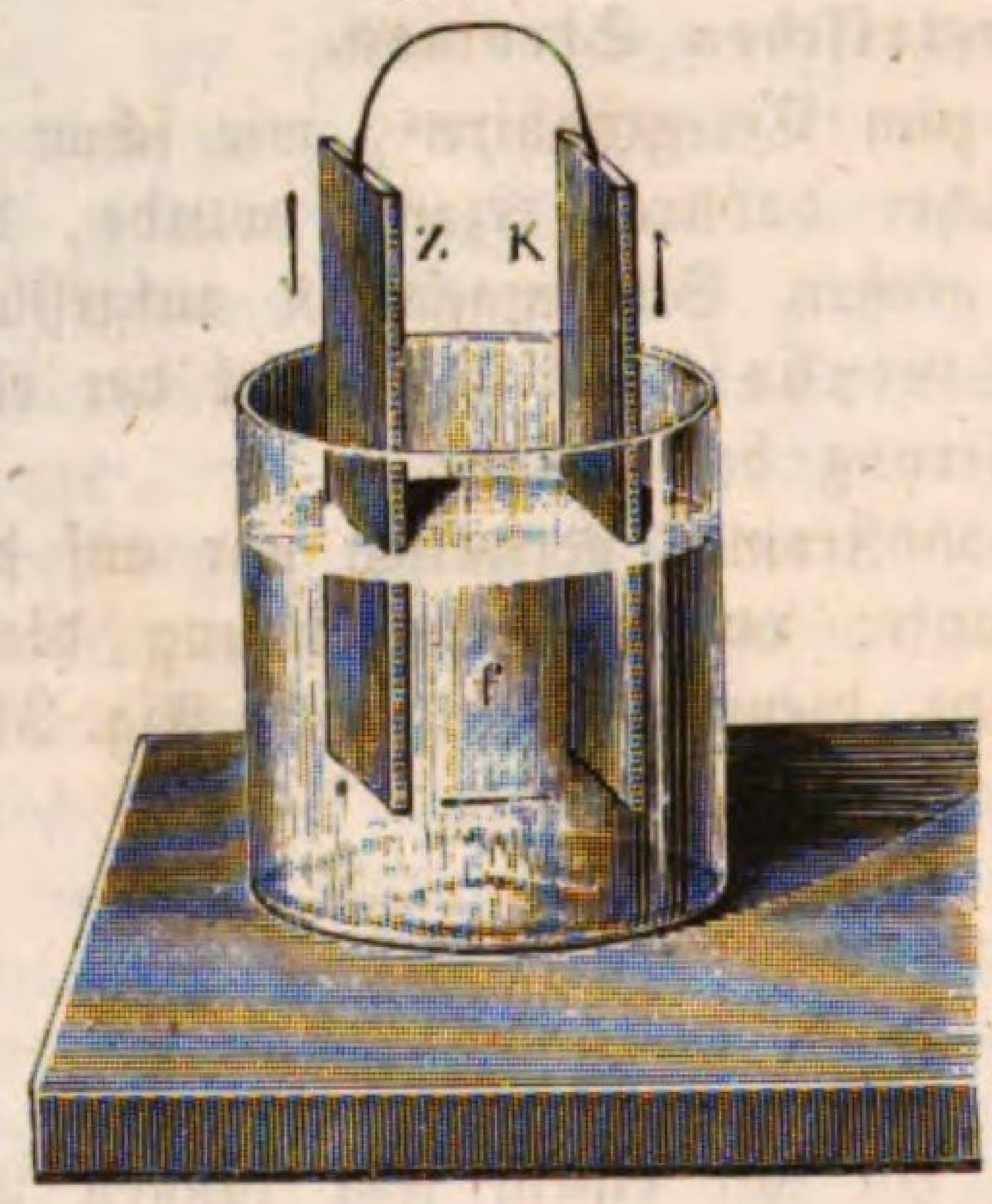
Derartige Inductionsströme fanden bis jetzt in der Telegraphie eine verhältnißmäßig geringe Anwendung, vorzugsweise beim Steinheil'schen Nadel-Telegraphen*) und beim Stöhrer'schen Zeiger-Telegraphen. In neuester Zeit ist man jedoch mehr und mehr auf die Inductions-Electricität zurückgekommen; Siemens und Halske, Hipp u. A. haben durch verschiedene sinnreiche Anwendungen derselben, auf welche wir später zurückkommen werden, die praktische Telegraphie wesentlich gefördert, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß man zu dieser Electricitätserregung so weit als irgend möglich zurückkehren werde, da die magnetoelectrischen Ströme nicht allein mit

*) Derselbe wurde bereits 1837 zwischen München und Bogenhausen eingerichtet, war also der erste im Großen ausgeführte, vollkommen brauchbare electrische Telegraph.

den verhältnißmäßig geringsten Kosten und auf die bequemste Weise erzeugt werden können, sondern sich auch durch ihre große Intensität auszeichnen, vermöge deren sie einen bedeutenden Leitungswiderstand zu überwinden im Stande sind.

Hydro-electrischer Strom.

(Fig. 220.)

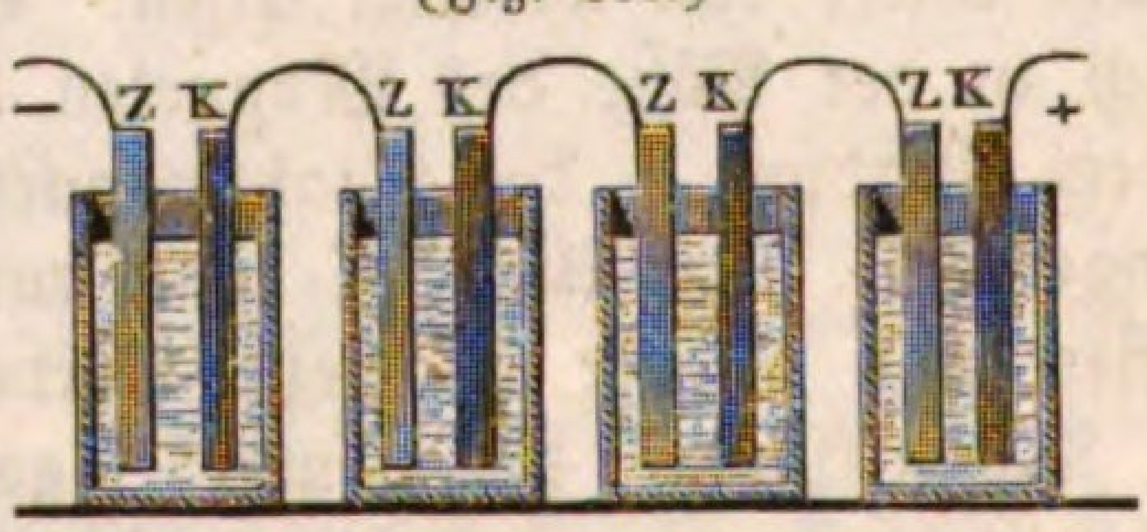


Fast durchgängig werden jetzt zu telegraphischen Zwecken die s. g. hydro-electrischen Ströme benutzt, auf deren Erzeugung wir etwas genauer eingehen müssen.

Bekanntlich wird ein Draht, welcher ein Stück Kupfer K (Fig. 220) und ein Stück Zink Z metallisch berührt, von einem sogenannten galvanischen Strome durchflossen, sobald die beiden Metalle außerdem in eine Flüssigkeit f eintauchen (s. S. 222).

Eine solche Combination aus zwei Metallen mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, nennt man eine einfache galvanische Kette, mehrere solche Ketten (Elemente) bilden eine galvanische Säule oder Batterie (Fig. 221). Eine derartige galvanische Kette hat für den längeren Gebrauch, wie ihn der Telegraphendienst erfordert, den großen Uebelstand, daß die Stromstärke sehr rasch abnimmt. Indem nämlich der Strom durch die Flüssigkeit geht, erleidet das Wasser derselben eine chemische Zersetzung: der Wasserstoff scheidet sich in Form kleiner Gasbläschen an der Oberfläche des Kupfers aus und überzieht dasselbe; der Sauerstoff tritt zum Zink und bildet auf diesem einen Ueberzug von Zinkoxyd*)

(Fig. 221.)



Demnach sind nach kurzer Zeit gar nicht mehr Kupfer und Zink, sondern Wasserstoff und Zinkoxyd mit der Flüssigkeit in Berührung; diese beiden Körper erzeugen aber einen Gegenstrom, welcher eine rasche Abnahme der electromotorischen Kraft zur Folge hat (s. S. 226).

Constante Ketten.

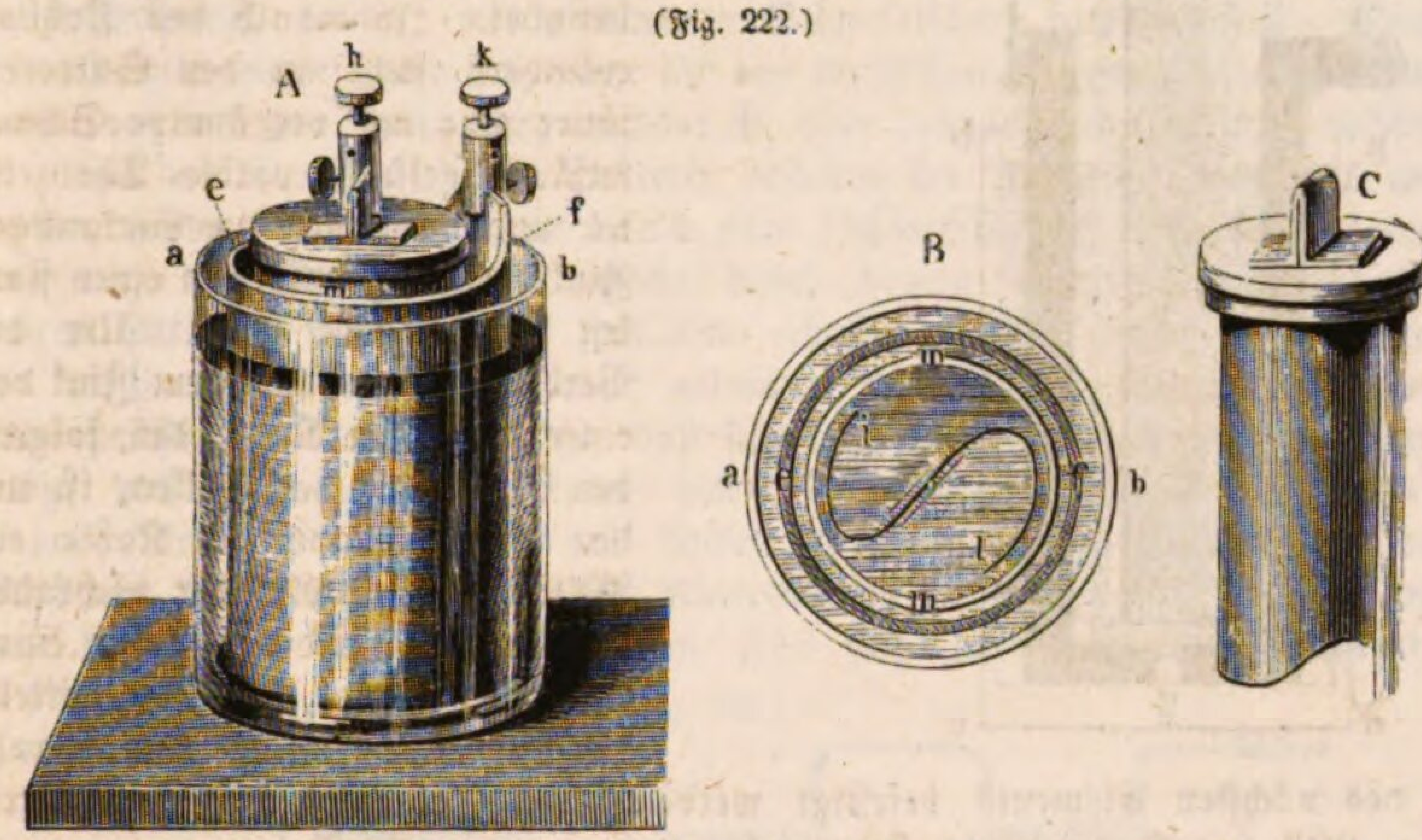
Um diese Schwächung des Stromes, hervorgerufen durch die Veränderung der Metalloberflächen, zu vermeiden, wendet man die sogenannten constanten Ketten an, welche nicht aus drei, sondern aus vier verschiedenen Körpern, nämlich aus zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten bestehen. Die beiden Metalle sind, wenn die Kette geschlossen ist, durch einen metallischen Leiter in Verbindung, die beiden Flüssigkeiten der constanten Kette berühren einander unmittelbar durch einen porösen Körper, z. B. eine Thierblase oder eine Zelle aus unglasirtem Thon, welche die Erscheinung der Endosmose zeigen (s. S. 69). Der Zweck der constanten Ketten ist: unveränderte Erhaltung der metallischen Oberfläche. Der (positive) Zinkpol der constanten Ketten befindet sich gewöhnlich in verdünnter Schwefelsäure, welche das durch die Abscheidung des Sauerstoffs entstehende Zinkoxyd sofort auflöst.

*) Das Nähere über die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes wird in dem Abschnitte über Galvanoplastik gegeben werden. (S. auch S. 225).

Damit an dem negativen Pole keine Ablagerung von Wasserstoff entstehe, sind nach der Natur dieses Metalles verschiedene Flüssigkeiten in Anwendung gebracht worden.

Fig. 222 A gibt die Ansicht einer Grove'schen constanten Kette, B den horizontalen Durchschnitt derselben. In einem Glasgefäße a b steht in

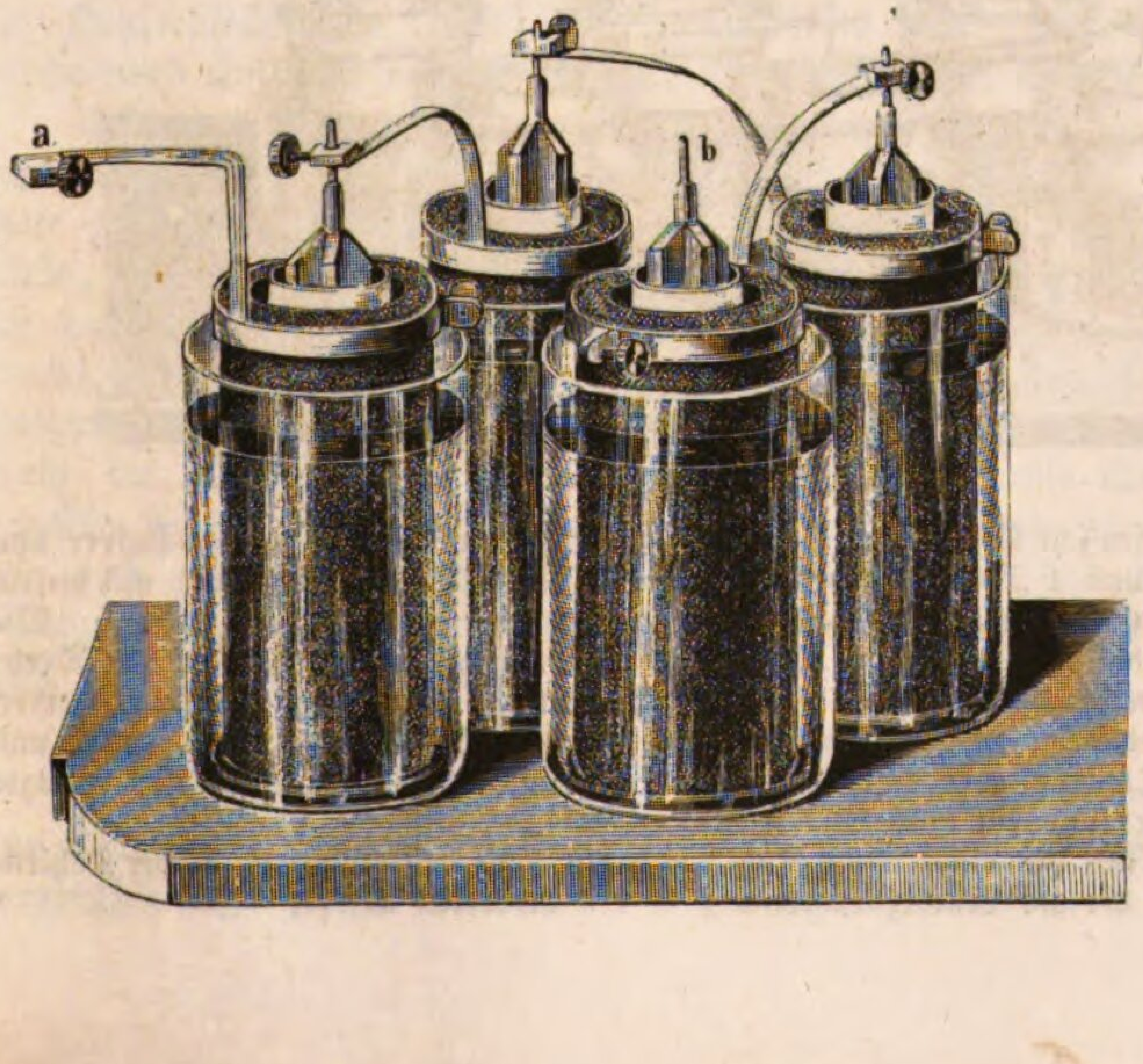
(Fig. 222.)



verdünnter Schwefelsäure ein Cylinder ef von amalgamirtem (mit Quecksilber überzogenem) Zink. Innerhalb derselben befindet sich eine Zelle mm von unglasirtem Thon, welche mit starker Salpetersäure gefüllt ist und in welche ein Sförmig gebogenes Platinblech il eintaucht. (Dies Blech ist in C für sich abgebildet.) Durch die Klemmschrauben h und k kann ein Metalldraht das Platin und das Zink verbinden, oder die Kette schließen.

Die Grove'sche Kette gibt einen Strom von bedeutender Stärke. Die Salpetersäure, ein heftig oxydirender, d. h. Sauerstoff abgebender Körper, verhindert hier die Ablagerung des Wasserstoffs auf dem Platinblech, indem sie demselben bei seiner Entstehung sofort Sauerstoff zuführt, womit sich derselbe zu Wasser verbindet.

(Fig. 223.)



Auch bei der Bunsen'schen constanten Kette wird zu demselben Zwecke Salpetersäure angewandt. Figur 223 stellt eine Bunsen'sche Batterie von 4 Elementen dar,

(Fig. 224.)

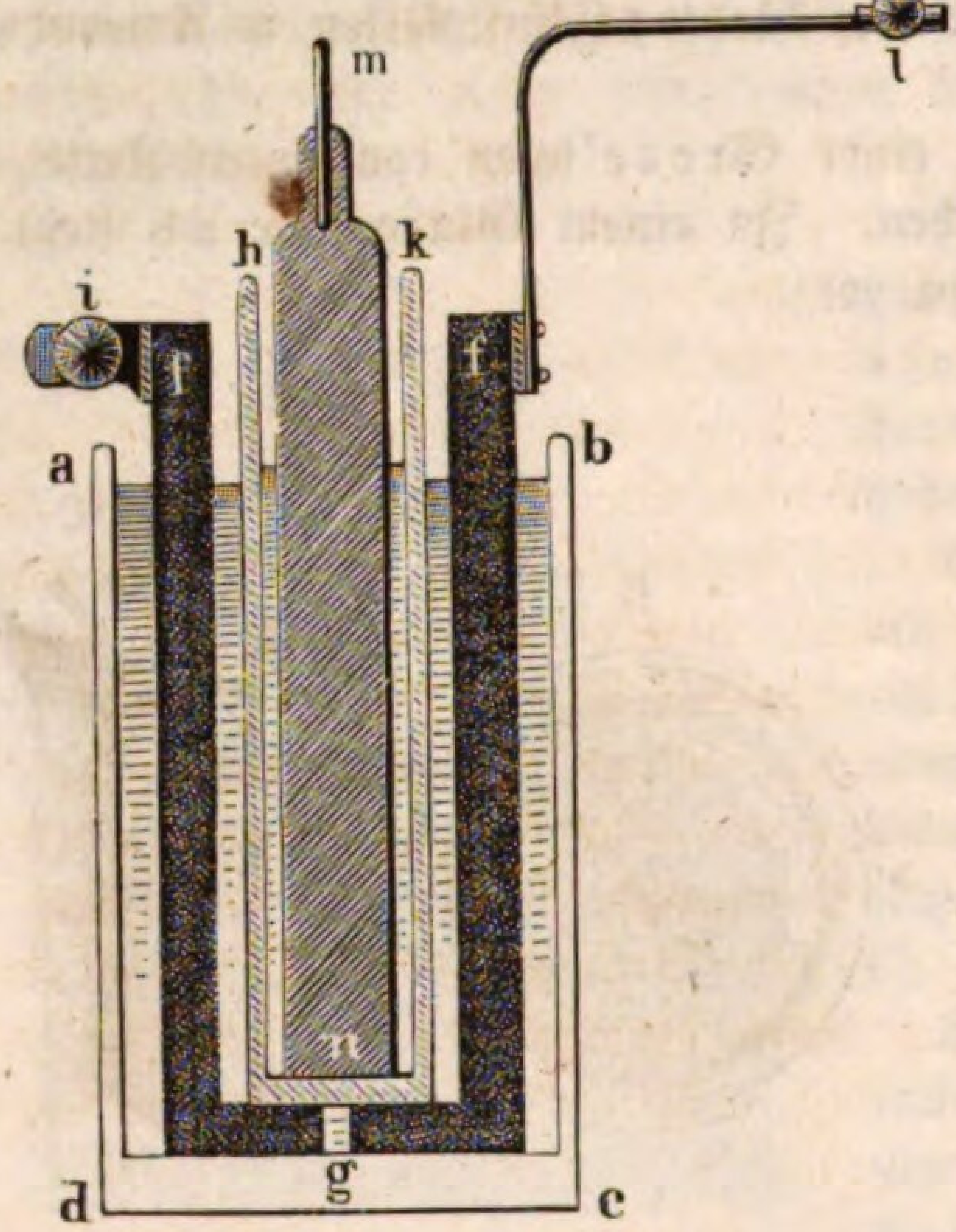
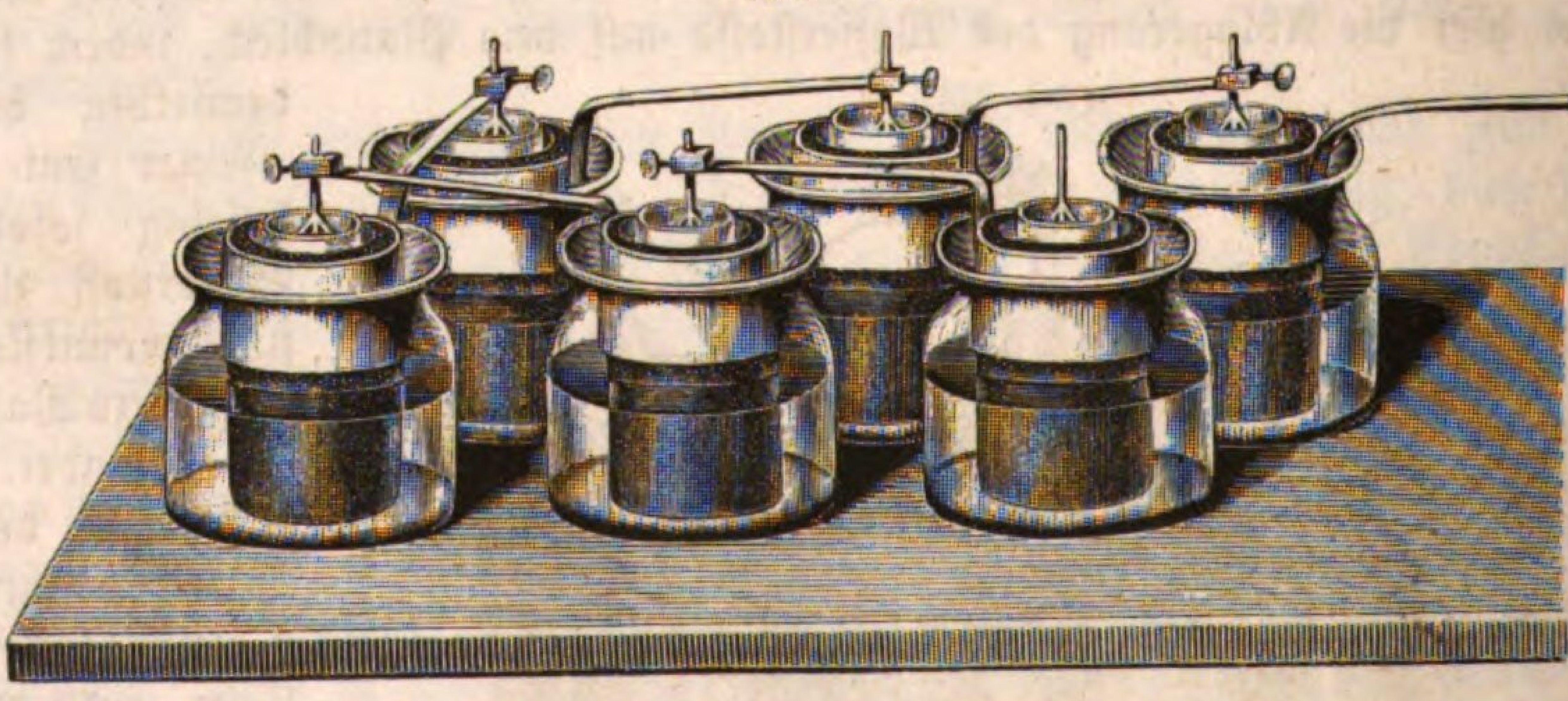


Fig. 224 eins dieser Elemente im senkrechten Durchschnitt. Ein Hohlcylinder fgf von Kohle*) steht in concentrirter Salpetersäure, welche sich in einem Glasgefäße adcb befindet. Innerhalb des Kohlencylinders steht in der Salpetersäure eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte poröse Thonzelle hk und in dieser ein vierkantiger Zinkblock mn, der oben einen starken Kupferdraht trägt. Um die Verbindung zwischen dem Zink des einen und der Kohle des folgenden Elementes herzustellen, ist um den oberen Rand der Kohle ein Metallring mittelst der Schraube i festgeklemmt; dieser trägt einen kupfernen Bügel, welcher mittelst der Schraube l an den Kupferdraht m des nächsten Elements befestigt werden kann. Die Bunsen'sche Batterie Fig. 223 hat bei a den positiven, bei b den negativen Pol.

Die Salpetersäure der Grove'schen und Bunsen'schen Batterie gibt bei ihrer allmählichen Zersetzung einen unangenehm riechenden Dampf von Untersalpetersäure aus, welcher im höchsten Grade zerstörend auf die Umgebung wirkt; dieselbe ist daher zum Telegraphenbetriebe nirgends mehr in Anwendung. Bei den preußischen Staatstelegraphen wendet man Zink-Kohlen-Elemente an, welche die Form der Fig. 225 haben. Die Kohlencylinder sind

(Fig. 225.)



*) Die Bunsen'sche Kohle wird dargestellt, indem man das feingesiebte Pulver von 2 Theilen Koaks und 1 Theil Backkohle in Formen von Blech einstampft und mit diesem etwa 3/4 Stunden lang in einem tüchtigen Kohlenfeuer der Rothglühhitze aussetzt. Die langsam abgekühlten Kohlencylinder können alsdann mit der Feile oder auf der Drehbank bearbeitet werden. Sobald sie hierdurch die richtige Form erlangt haben, werden sie mit Syrup getränkt, in feuerfesten Tiegeln zwischen Holzkohlenpulver verpackt und der Hitze eines Töpfer- oder Porzellanofens ausgesetzt. Die auf solche Art erzeugte Kohle ist sehr hart und ein guter Electricitätsleiter.

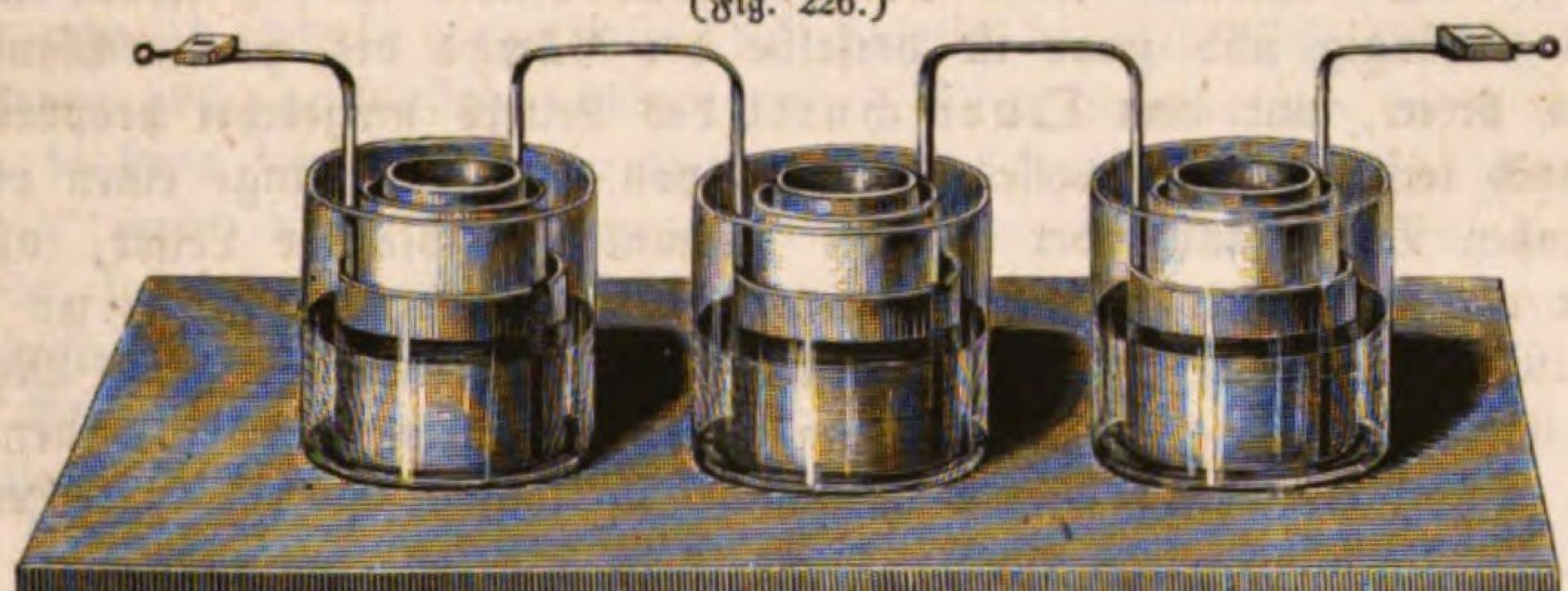
Noch härter als die Bunsen'sche Kohle und ein noch besserer Leiter ist der Kohlenstoff, welcher sich bei der Leuchtgasbereitung in den Retorten absetzt.

beiderseits offen und an ihrer oberen Hälfte mit einem Reifen von Blei umgeben, durch welchen die Verbindung mit dem Zink des folgenden Elementes vermittelt wird. Kohle und Zink stehen beide in sehr verdünnter Schwefelsäure.

Die für den Betrieb der englischen Nadeltelegraphen angewandte Smee'sche Batterie besteht aus Silber und Zink. Beide Metalle sind durch eine Schicht Sand getrennt, welcher mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet ist. Diese Batterie gibt einen schwachen, aber für den englischen Telegraphen ausreichenden Strom, der zwar nicht ganz constant ist, aber dennoch ziemlich lange anhält.

Bei der Daniell'schen Batterie bestehen die Elemente aus Zink und Kupfer, ersteres befindet sich in verdünnter Schwefelsäure, letzteres in einer Auflösung von Kupfervitriol, welche durch hinein gelegte Krystalle dieses Salzes stets in concentrirtem Zustande erhalten wird. Beide Flüssigkeiten sind durch eine poröse Scheidewand getrennt. Durch den galvanischen Strom wird der Kupfervitriol so zersetzt, daß sich daraus metallisches Kupfer niederschlägt und auf dem Kupferblech des Elementes absetzt Diese Batterie ist von allen die constanteste und findet im Gegensatz zu allen vorher beschriebenen bei solchen Telegraphen Anwendung, bei denen im Zustande der Ruhe der Strom geschlossen ist. Fig. 226 zeigt drei Daniell'sche Elemente,

(Fig. 226.)



wie sie auf den meisten deutschen Eisenbahnen zum Betrieb der älteren Siemens-Halske'schen Zeigertelegraphen im Gebrauch sind. Die Glasgefäße sind kaum zur Hälfte mit Kupfervitriollösung gefüllt, worin ein dünnes Kupferblech steht. Im Innern desselben steht eine poröse Thonzelle, welche einen Cylinder von dickem Zinkblech in verdünnter Schwefelsäure enthält.

Uebrigens geben auch die s. g. constanten Ketten aus leicht begreiflichen Gründen keinen vollkommen gleichbleibenden Strom. So lange die Kette geschlossen ist, löst sich Zink auf, und zwar proportional der Stromstärke; die verdünnte Schwefelsäure, welche das Zink umgibt, verwandelt sich dadurch in eine Zinkvitriollösung, deren Concentration fortwährend zunimmt; in dem Maaße, als die Schwefelsäure sich mit Zinkoxyd sättigt, verliert sie die Fähigkeit, das Zink electrisch anzuregen. Hierdurch, so wie durch die allmähliche Vermischung der durch die poröse Scheidewand getrennten Flüssigkeiten nimmt bei jeder galvanischen Kette die Wirkung nach und nach ab, und daher müssen die Batterieen von Zeit zu Zeit auseinandergenommen, die Metalle gereinigt und die Flüssigkeiten erneuert werden. Eine vollkommen constante Kette gibt es nicht.

B. Die Leitung.

Durch die galvanische Batterie wird eine electrische Spannung, d. h. eine Trennung der im gewöhnlichen Zustande vereinigten Electricitäten hervorgerufen. Je größer der Abstand der erregenden Metalle in der electrischen

Spannungsreihe (die electrische Differenz) und je größer die Anzahl der hintereinandergesetzten Elemente der Batterie ist, desto größer ist die electromotorische Kraft, desto größer das Bestreben nach Wiedervereinigung oder Ausgleichung der durch die Batterie hervorgerufenen Gegensätze. Der aus Metallen oder andern Electricitätsleitern gebildete Weg vom positiven zum negativen Pole der Batterie, auf welchem diese Ausgleichung stattfindet, heißt die Leitung, und die Stromstärke hängt gleichfalls von dem größern oder geringern Widerstande ab, welchen der galvanische Strom auf diesem Wege erfährt.

Ohm'sches Gesetz. Die Stärke eines galvanischen Stromes ist nach dem Ohm'schen Gesetze der electromotorischen Kraft sämmtlicher in der Kette eingeschalteten Elemente direct, und dem gesammten Leitungswiderstande umgekehrt proportional.

Die verschiedenen Substanzen besitzen eine sehr verschiedene Leitungsfähigkeit für den galvanischen Strom; die Metalle leiten unter allen Körpern am besten, aber auch ihr Leitungsvermögen ist verschieden. Der Leitungswiderstand des Kupfers verhält sich nach Pouillet zu dem des Eisens wie 1 : 6 (genauer wie 17 : 100) und zu dem des reinen Wassers wie 1 : 7000,000000. Wasser, welches Säuren oder Salze aufgelöst enthält, leitet jedoch viel besser.

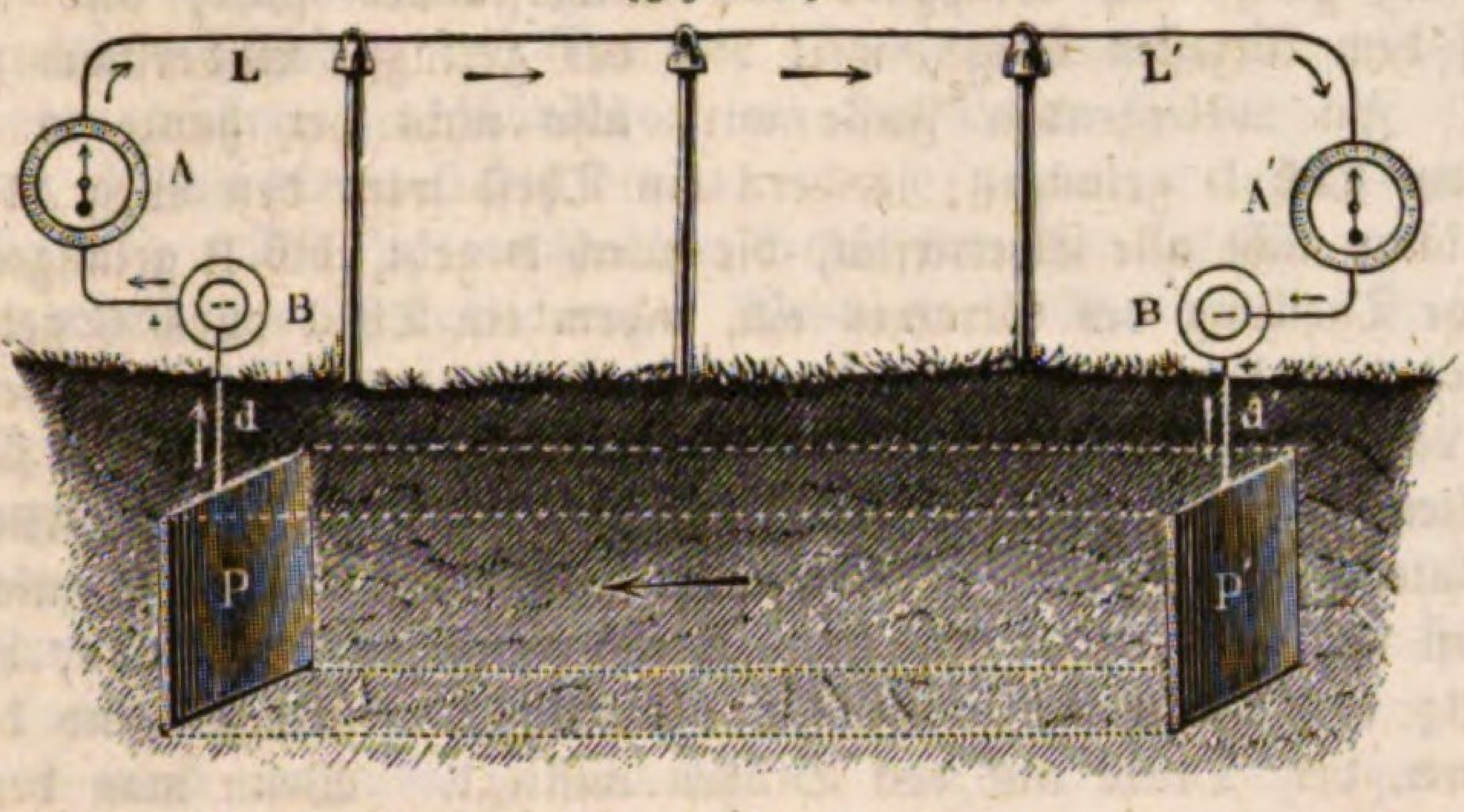
Leitungswiderstand. Der Widerstand eines und desselben Leiters ist von seinen Dimensionen abhängig und zwar ist derselbe der Länge des zu durchlaufenden Weges direct, und dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional. Demnach leistet beispielsweise ein Draht von 4 Meilen Länge einen viermal so großen Widerstand oder ist ein viermal so schlechter Leiter, als ein Draht von demselben Metall und der gleichen Dicke, der nur eine Meile lang ist, oder den gleichen Widerstand wie ein Draht desselben Metalles von 16 Meilen Länge, welcher den doppelten Durchmesser, also den vierfachen Querschnitt hat. Ferner: ein 17 Fuß langer Eisendraht leistet denselben Widerstand wie ein eben so dicker, 100 Fuß langer Kupferdraht. Soll also ein Eisendraht eben so gut leiten wie ein Kupferdraht von gleicher Länge, so muß der erstere dicker genommen werden; ihre Querschnitte müssen sich wie 100 : 17, also ihre Durchmesser ungefähr wie $2^1/_2$: 1 verhalten.

Für oberirdische Telegraphenleitungen ist das Kupfer jetzt fast überall durch Eisendraht verdrängt worden. Derselbe muß zwar dicker genommen und vor der Oxydation durch einen dünnen Zinküberzug geschützt (galvanisirt) werden; allein dennoch stellt sich eine Eisendrahtleitung viel billiger, da der starke Eisendraht wegen seiner größern Steifigkeit nicht so vieler Stützen bedarf und vermöge seiner größeren Festigkeit nicht so leicht durch die sich im Winter anhängenden Schnee- und Eismassen zerrissen werden kann.

Erdleitung. Durch Vergrößerung des Querschnitts der Leitung ist man im Stande, die Stromstärke bedeutend zu vermehren; auch ein schlechter Electricitätsleiter, z. B. das Wasser des feuchten Erdreichs, kann als Leitung benutzt werden und möglicherweise sogar einen viel geringern Leitungswiderstand bieten, als ein Kupferdraht, sofern nur für einen hinreichend großen Querschnitt gesorgt wird. Dies geschieht dadurch, daß die Drahtleitung in große Metallplatten endigt, welche in das Grundwasser eingesenkt werden.

Hierauf beruht die sogenannte Erdleitung, eine der wichtigsten, zuerst von Steinheil gemachten Anwendungen des Ohm'schen Gesetzes, durch welche die Anlagekosten sämmtlicher Telegraphen fast auf die Hälfte reducirt worden sind. Fig. 227 möge zur Erläuterung derselben dienen. Auf zwei mit einander correspondirenden Stationen sind die Batterien B und B' so aufge-

(Fig. 227.)



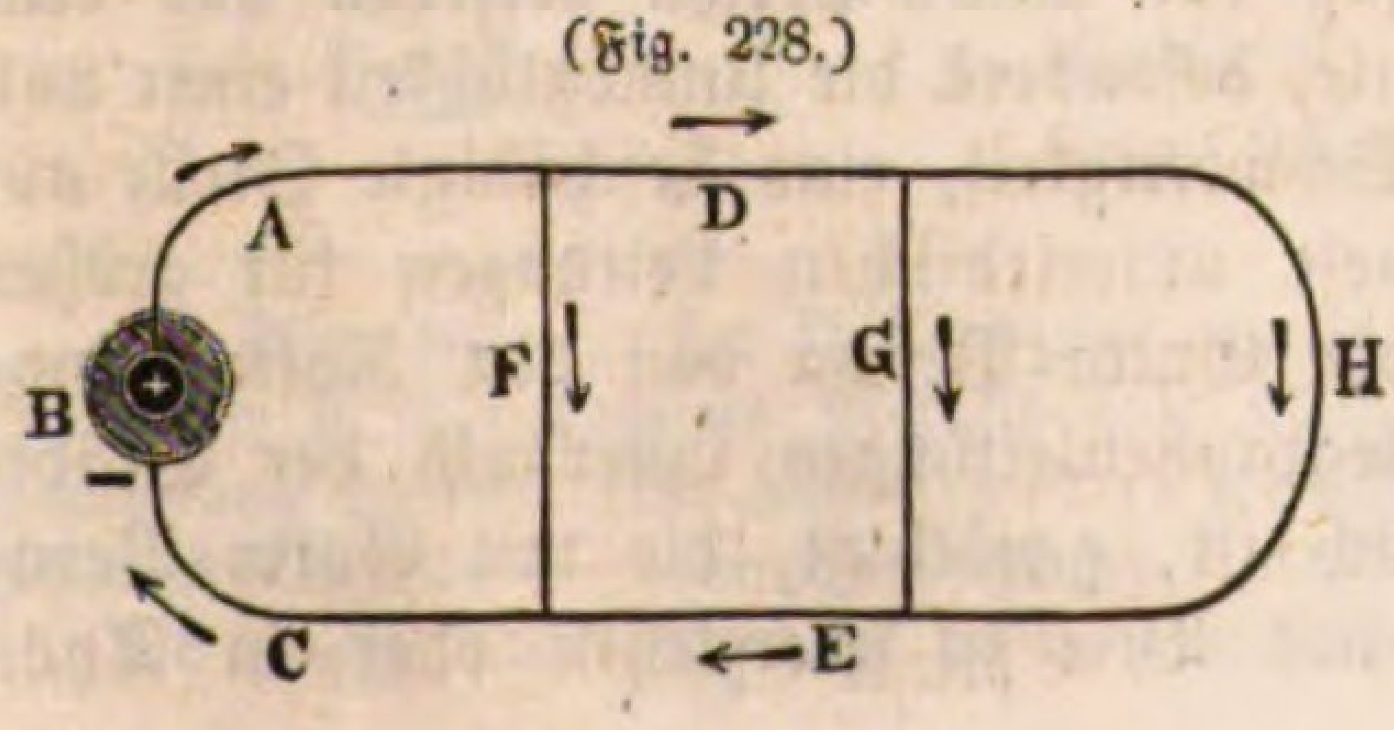
stellt, daß sie einen Strom in der durch die beigezeichneten Pfeile angedeuteten Richtung erzeugen. Der durch die Luft ausgespannte Metalldraht LL' geht vom positiven Pole der Batterie B nach dem telegraphischen Apparat A, der negative Pol ist durch den Draht d mit der etwa 25 Quadratfuß großen Metallplatte P verbunden, welche in das Grundwasser des Ortes eingesenkt ist. Von A aus geht der Draht über die Telegraphenstangen nach dem Zeichengeber A' der andern Station und durch diesen nach dem negativen Pole der dort aufgestellten Batterie B', deren positiver Pol mit der andern Erdplatte P' verbunden ist. Die Zeichengeber A und A' sind so eingerichtet, daß daselbst die metallische Leitung leicht unterbrochen und geschlossen werden kann. Wird dieselbe nun in A unterbrochen, so kann kein Strom circuliren, und das Aufhören desselben zeigt sich auch in A'; wird durch den Zeichengeber A die metallische Verbindung wieder hergestellt, so wird der Strom geschlossen und der Draht auch in A' electrisch.

Es steht sowohl theoretisch als durch die Erfahrung fest, daß ein electrischer Strom, wenn er seinen Weg auch durch noch so verschiedenartige Leiter nimmt, dennoch an allen Stellen der Leitung, mögen dieselben nahe an der Electricitätsquelle oder noch so weit davon entfernt sein, die gleiche Kraft zeigt; tritt an irgend einer Stelle der Leitung eine Aenderung der electrischen Spannung, eine Zu- oder Abnahme der electromotorischen Kraft oder eine Aenderung des Leitungswiderstandes ein, so erfolgt in allen Theilen der Leitung eine gleichmäßige Aenderung der Stromstärke; wird an einer Stelle die Leitung unterbrochen, gleichviel wo, so hört überall der Strom auf. Wird irgendwo statt eines schlechteren ein besserer Leiter eingeschoben, so zeigt sich in jedem Punkte der Leitung die gleiche Zunahme der Intensität.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Erdleitung einen weit geringeren Widerstand bietet, als der früher gebräuchliche zweite Metalldraht. Es wird also nicht allein dieser, sondern auch ein Theil der electromotorischen Kräft gespart, indem man mit einer geringeren Anzahl Elemente arbeiten kann.

Eine wesentliche Bedingung für electrische Leitungen ist die möglichst vollkommene Isolirung der Hin- und Zurückleitung. Denn wenn von den Polen einer Batterie B (Fig. 228) zwei Drähte AD und CE nach H gehen, so wird dort eine bedeutende Schwächung der Stromstärke eintreten, sobald die beiden Leitungsdrähte auf irgend eine Weise, z. B. durch die Querdrähte F und G in leitende Verbindung gesetzt werden. Die electrische Ausgleichung findet in einer Isolirung.

(Fig. 228.)

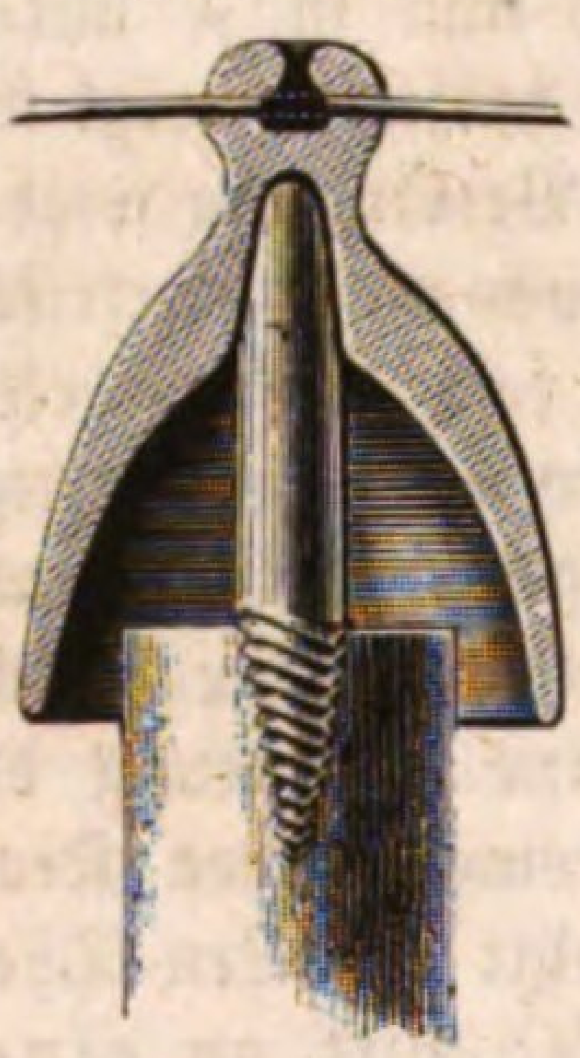


verzweigten Leitung ganz nach Maßgabe des Widerstandes statt, also im Allgemeinen auf dem kürzesten Wege, weil hier der geringste Widerstand zu überwinden ist. Im vorliegenden Falle wird also nicht der ganze in A vorhandene Strom nach D gelangen, sondern ein Theil wird den Weg AFC wählen, ebenso kann nicht alle Electricität, die durch D geht, bis H gelangen; es tritt eine neue Theilung des Stromes ein, indem ein Theil durch G geht. Nehmen wir an, daß F und G aus ebenso gut leitendem Draht bestehen, wie die übrige Leitung, so werden die Stromintensitäten in F, G und H sich umgekehrt verhalten, wie die zurückgelegten Wege AFC, ADGEC und ADHEC.

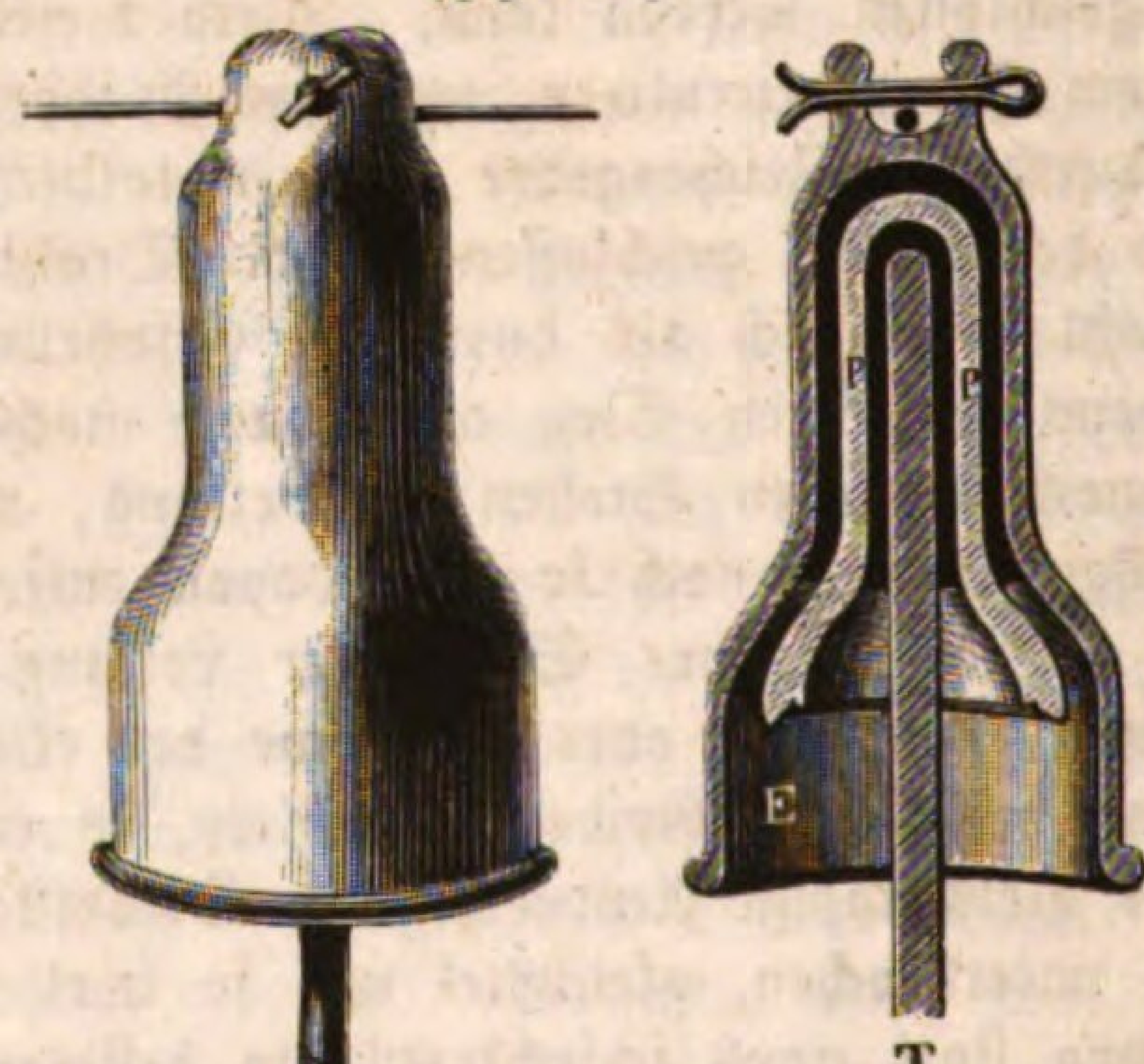
Oberirdische Leitung.

Eine absolute Isolirung der oberirdischen Telegraphendrähte ist nicht möglich, da selbst die feuchte Luft, wenn auch nur in geringem Grade, die Electricität leitet; die kritischen Punkte für oberirdische Leitungen sind die Stellen, an denen der Draht auf den Stützen aufliegt. Wenn man denselben, wie es zuerst geschah, um das Holz der Stützen wickelt, so ist die Schwächung des Stromes durch die Nebenschließungen besonders bei Regenwetter so bedeutend, daß auf größere Strecken nicht mehr telegraphirt werden kann. Man pflegt jetzt den Draht auf Hütchen von Porzellan oder Glas zu befestigen, welche durch ihre dachartige Form die leitende Vermittelung des Regenwassers verhindern. Ein solches Hütchen ist Fig. 229 im Durchschnitt dargestellt. Die Zerbrechlichkeit dieser Isolirhütchen hat jedoch darauf geführt, die Construction zu wählen, von welcher Figur 230 eine Ansicht und einen Durchschnitt gibt. Auf dem eisernen Träger T ist zuerst ein Porzellanhütchen P und auf dieses ein eisernes Hütchen E aufgekittet, welches als Dach dient und auf seiner Spitze den Telegraphendraht trägt. Die Art der Befestigung des letzteren mittelst einer eingeschobenen Drahtschleife ist aus der Figur ersichtlich.

(Fig. 229.)



(Fig. 230.)



Unterirdische Leitung.

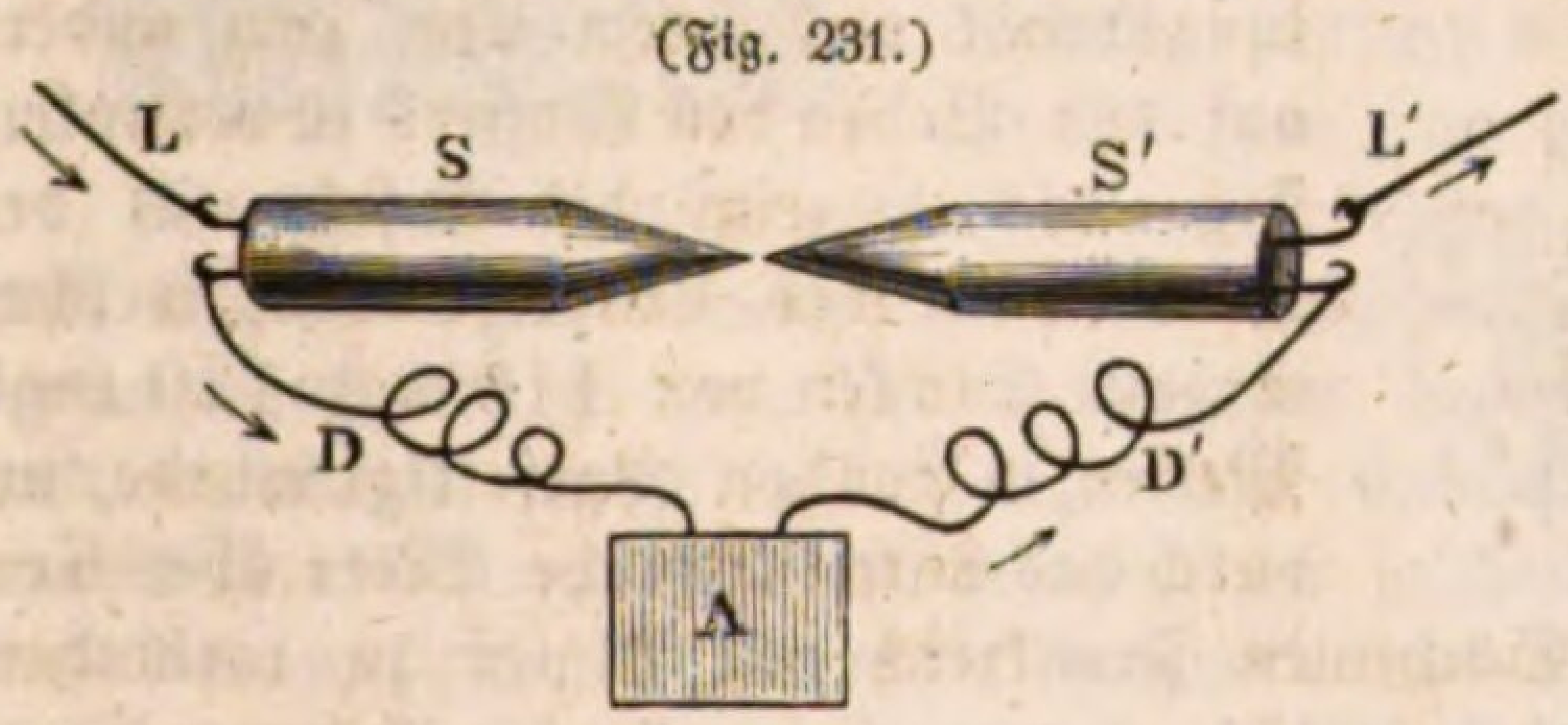
Da oberirdische Leitungen sehr leicht der Beschädigung unterliegen, theils durch Muthwillen und Bosheit, theils durch atmosphärische Einflüsse, so dachte man daran, alle Telegraphendrähte unter der Erde durchzuführen. Dieselben wurden mit einem isolirenden Ueberzug von Gutta-Percha versehen und etwa 2 Fuß tief eingegraben. Die Nachtheile, besonders die Unmöglichkeit einer vollkommenen Isolirung und die große Schwierigkeit, eine beschädigte Stelle aufzufinden, haben darauf geführt, diese unterirdischen Leitungen für größere Strecken wieder aufzugeben. Da die Gutta-Percha von den Ratten angenagt wird, so ist man bei den Telegraphenleitungen innerhalb der Städte, wo eine oberirdische Leitung unmöglich ist, genöthigt, die mit Gutta-Percha überzogenen Kupferdrähte nochmals mit Blei zu überziehen oder in Thon-

röhren einzuschließen. Im Uebrigen ist man für größere Leitungen zur oberirdischen Führung des Drahtes allgemein zurückgekehrt, und hat also Mittel finden müssen, die schädlichen atmosphärischen Einflüsse zu verhindern.

Unter diesen stehen die der atmosphärischen Electricität in erster Reihe*). Die Leitungsdrähte bieten derselben häufig eine willkommene Gelegenheit zur Ausgleichung. Wenn diese Electricität, wie bei Gewittern, eine große Spannung besitzt, so erreicht der in dem Telegraphendrahte erregte Strom leicht eine solche Intensität, daß die Anker der Electromagneten angezogen, die Läutewerke (s. u.) ausgelöst und andere Unregelmäßigkeiten hervorgerufen werden. Bei größerer Intensität springen an den Leitungsdrähten Funken über und die dünnen Drähte der Telegraphenapparate werden geschmolzen oder verbrannt; die stärkste electrische Entladung, der Blitz, kann und wird vorzugsweise von den Leitungsdrähten angezogen werden, also die Telegraphenlokale am meisten gefährden. Einfluß der Gewitter.

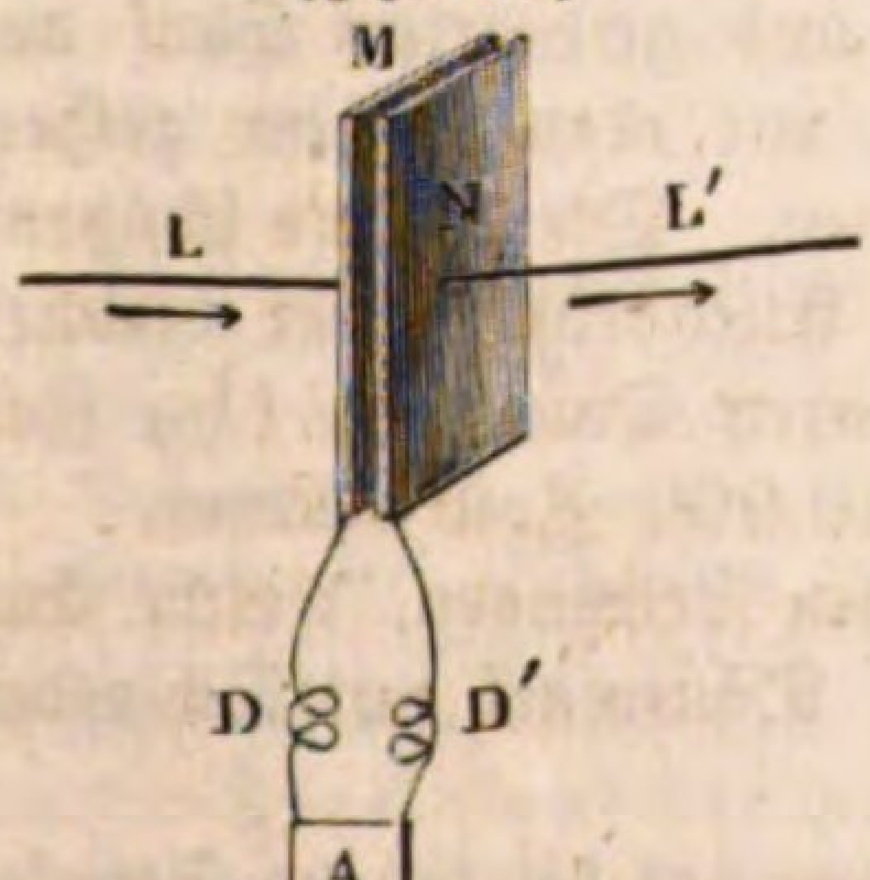
Die Mittel, welche man zur Beseitigung dieser Uebelstände und Gefahren in Anwendung gebracht hat, stützen sich sämmtlich auf die verschiedenen Eigenschaften der atmosphärischen und der galvanischen Electricität. Während die letztere vermöge ihrer geringen Spannung eine ununterbrochene Verbindung der besten Leiter erfordert und dem feinsten Metalldrahte in allen Krümmungen und Windungen folgt, durchbricht die atmosphärische Electricität mit Leichtigkeit schlechte Leiter, z. B. Luft, auf große Entfernungen und zeigt überhaupt mehr Neigung den kürzeren Weg zu wählen, als den besseren Leiter. Hierauf beruhen die Blitzableiter, welche man in den Draht oberirdischer Leitungen zum Schutz der Telegraphen-Apparate, Wärterhäuschen u. s. w. einschaltet. Blitzableiter.

(Fig. 231.)



Der Leitungsdraht L (Fig. 231) endet in die Spitze S aus blankem Metall, welcher eine gleiche Spitze S' dicht gegenüber steht, ohne dieselbe zu berühren. Von beiden Spitzen gehen außerdem die feinen Drähte D und D' aus, welche nach dem Telegraphenapparat A führen. Der galvanische Strom nimmt den Weg L S D A D' S' L', die atmosphärische Electricität dagegen durchbricht leicht die Luftschicht zwischen S und S', ohne durch den Apparat zu gehen.

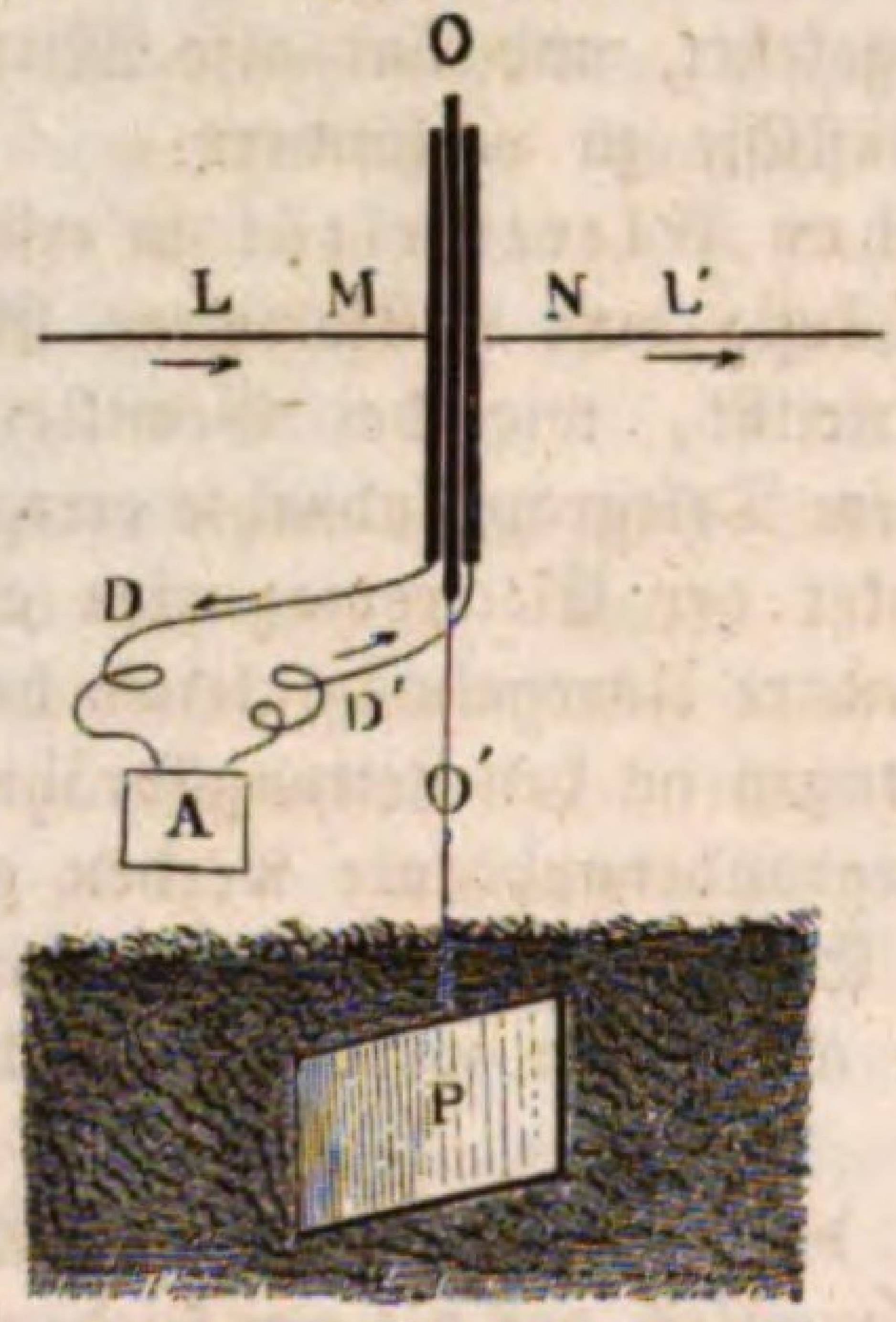
(Fig. 232.)



Noch besser als durch Spitzen hat sich die Abgleichung der atmosphärischen Electricität durch große einander nahe gegenüber gestellte Metallplatten bewährt. Der Leitungsdraht L (Fig. 232) endigt in die Metallplatte M; L' in die Metallplatte N, welche der vorigen sehr nahe gegenüber steht. Dieser Blitzableiter ist so wirksam,

*) Man war zu der Befürchtung geneigt, die große Menge der auf weite Strecken durch die Luft gezogenen Metalldrähte möchte eine solche Abgleichung der electrischen Spannung hervorrufen, daß Gewitter, wenigstens starke Gewitter gar nicht mehr vorkommen könnten — eine Befürchtung, welche durch die Erfahrung der letzten Jahre sich als vollkommen grundlos herausgestellt hat.

(Fig. 233.)



daß der magnetisirende Einfluß der Gewitter und die dadurch entspringenden Unregelmäßigkeiten selbst bei den feinsten Telegraphenapparaten gänzlich aufgehoben werden, indem die atmosphärische Electricität sogleich von einer Platte auf die andere übergeht. Die Apparate sind in solchem Falle zwar vollständig geschützt, allein die Gefahr der Schmelzung des Leitungsdrahtes bei einer hinreichend starken atmosphärischen Entladung ist damit noch nicht aufgehoben. Um diese zu beseitigen, setzt man zwischen die (Fig. 233) schematisch im Durchschnitt gezeichneten Platten M und N noch eine dritte Metallplatte O, welche durch einen oder mehrere sehr starke Drähte O' mit der Erdplatte P verbunden ist. Hierdurch wird die atmosphärische Electricität nach der feuchten Erde abgeleitet. Dieser sinnreiche Blitzableiter ist gleichfalls von dem um die electrische Telegraphie hochverdienten Professor Steinheil angegeben.

Submarine Leitung. Besondere Schwierigkeiten bietet die sichere und dauerhafte Construction der Leitungen, so wie deren vollständige Isolirung, da, wo die Telegraphenlinien Flüsse, Seen und Meeresarme durchschneiden. Man pflegt den mit einem isolirenden und vor mechanischen Verletzungen schützenden Ueberzuge versehenen Leitungsdraht von einem Ufer zum andern auf den Boden des Wassers zu versenken. Fig. 234 A zeigt die Ansicht, B den Durchschnitt des Leitungstaues, welches in zwei Stücken von 110 und 140 engl. Meilen in London angefertigt wurde, um durch das mittelländische Meer über Corsica und Sardinien Frankreich mit Algier zu verbinden. Dieses Kabel enthält 6 mit einem starken Ueberzuge von Gutta-Percha versehene $^1/_{16}$ Zoll starke Kupferdrähte; der Kern K ist durch eine Trense aus getheertem Hanf ausgefüllt und das ganze Bündel mit eben solchem getheerten Hanf ziemlich dick umsponnen. Die äußere schützende und zugleich beschwerende Hülle bilden 12 starke Eisendrähte oder vielmehr dünne Eisenstangen e. Der Durchmesser des ganzen Taues ist $1^1/_2$ Zoll, das Gesammtgewicht desselben beträgt ungefähr 40,000 Zoll-Centner.

(Fig. 234.)



Aus ähnlichen Tauen bestehen die unterseeischen Leitungen, welche England mit dem Continente, Schottland mit Irland, Dänemark mit Schweden, Sardinien mit Malta und Corfu verbinden.

Das Auslegen unterseeischer Telegraphenleitungen hat bei langen Strecken, besonders aber bei großen Tiefen, sehr bedeutende Schwierigkeiten. Zwischen Cagliari (auf Sardinien) und Bona (in Algier), wo man Meerestiefen bis zu $^2/_5$ geogr. Meilen antraf, ist die Niederlegung zweimal verunglückt und erst zum dritten Male (im November 1857) gelungen. Die ungeheure Last des an dem Schiffe hängenden Kabels muß eine bleibende Dehnung desselben zur Folge haben, so bald seine Elasticitätsgrenze von jener Last über-

stiegen wird. Hierin, so wie in der durch Zerreißungen der Gutta-Percha-hülle unterbrochenen Isolirung mag wohl die Ursache zu suchen sein, weshalb das 2000 engl. Meilen lange atlantische Telegraphentau zwischen Irland und America (Newfoundland) unbrauchbar geworden ist. Hier betrug die größte Meerestiefe gegen $^2/_3$ geogr. Meilen. Hoffentlich wird es gelingen, auch diese Schwierigkeiten zu überwinden.*)

In der Nähe der Ufer werden die Telegraphenseile durch aufgeschobene gußeiserne Röhren gegen die Beschädigungen der Brandung noch mehr gesichert.

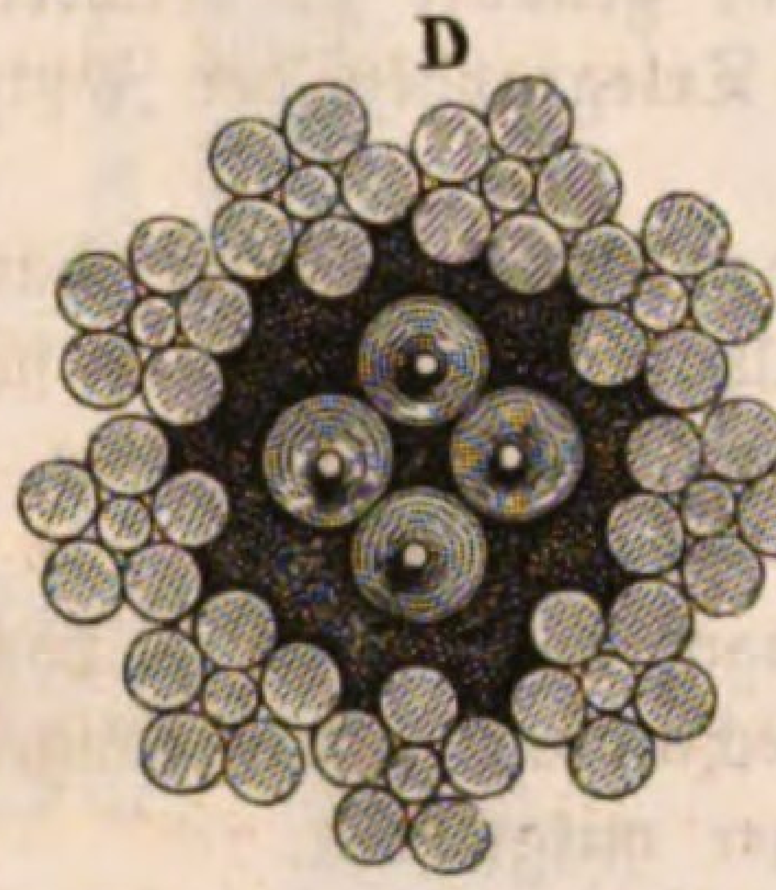
Zur Durchschneidung schiffbarer Flüsse werden Seile von größerer Biegsamkeit, Dauerhaftigkeit und Sicherheit gegen die Beschädigungen durch Strömung, Eisgang, schleppende Schiffsanker u. s. w. benutzt. Fig. 235 A giebt die Ansicht, D den Durchschnitt eines aus der Fabrik der Herren Felten und Guilleaume in Köln hervorgegangenen derartigen Telegraphen-Taues. Die Drähte haben hier einen doppelten Gutta-Percha-Ueberzug, sind gleichfalls mit getheertem Hanf umgeben, aber äußerlich nicht mit einzelnen starken Drähten, sondern mit Litzen aus 6 zusammengedrehten Drähten von galvanisirtem Eisen umsponnen.

(Fig. 235.)

A.



D



Trotz der sorgfältigen Isolirung kommt es doch bisweilen vor, daß das Wasser durch unmerklich kleine Undichtigkeiten der isolirenden Hüllen seinen Weg bis zu den Leitungsdrähten findet und Nebenschließungen vermittelt, welche leicht das ganze Tau unbrauchbar machen. Ein eben so einfaches als sinnreiches Verfahren, um solchen Schaden zu heilen, hat der um die praktische Telegraphie hochverdiente Hipp in Bern angegeben: er verband das schadhafte Tau längere Zeit mit dem positiven Pole einer galvanischen Batterie, deren negativer Pol mit der Erdplatte verbunden war. An der beschädigten Stelle, wo der positive Strom aus dem Drahte in das Wasser tritt, wird durch die chemische Zerlegung des letzteren der

*) Das erste atlantische Kabel, welches im August 1858 zwischen Valentia und Newfoundland gelegt wurde, blieb bekanntlich nur wenige Wochen brauchbar, indem die Isolirung nach und nach immer mangelhafter wurde. Es sind durch dasselbe vom 10. August bis 1. Septbr. außer den Besprechungen zwischen den Beamten beider Enden im Ganzen 366 Depeschen (mit 3942 Worten = 20219 Buchstaben) befördert worden. Silver hat mittelst starker hydraulischer Pressen nachgewiesen, daß bei dem ungeheuren Drucke, welchem das Tau in einer Tiefe von $^2/_3$ geogr. Meile ausgesetzt ist, die Gutta-Percha auf die Hälfte ihres Volumens comprimirt wird. Schrumpft der Kern des Kabels in diesem Verhältniß ein, während der Draht der Umhüllung die ursprüngliche Länge behält, so muß die Gutta-Percha reißen.

Das neue Kabel, das wo möglich noch im Jahre 1859 gelegt werden soll, wird aus 7 zusammengedrehten Kupferdrähten bestehen, welche die doppelte Dicke der vorigen haben; es wird überzogen mit einer Mischung von Gutta-Percha mit Kautschuk und einigen anderen Isolatoren und von außen nur mit einem Gewebe von Hanf überzogen. Von dem Ueberzug mit Eisendraht soll ganz abgesehen werden. Das Gewicht ist weniger als 8 Ctr. pr. engl. Meile, an der Küste etwa 2 Tonnen pr. Meile; es soll nur halb so viel kosten als das erste Tau.

Sauerstoff angezogen und dadurch eine Oxydschicht auf dem Kupfer abgelagert, welcher bald eine vollkommene Isolirung bildet. Auf diese Weise hat Hipp das Kabel des Genfer Sees geheilt, und auch bei dem unterseeischen Tau zwischen Cagliari und Malta hat sich seine Methode bewährt. Um die Auflösung des schützenden Ueberzuges zu verhindern, werden alsdann nur positive Ströme hindurchgeschickt.

C. Die Zeichengeber.

Die Zeichengeber oder Telegraphen im engeren Sinne haben seit Gauß' und Weber's Entdeckung eine so großartige und vielseitige Ausbildung erlangt und sind in einer so raschen Fortentwickelung begriffen, daß wir uns in diesem Abschnitte darauf beschränken müssen, nur einige der verbreitetsten Telegraphensysteme genauer zu beschreiben.

Sämmtliche electrische Telegraphen der Jetztzeit lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

1. Bei den Nadeltelegraphen benutzt man die Bewegungen der unter dem Einfluß des galvanischen Stromes stehenden Magnetnadel direct zur Hervorbringung verabredeter Signale.
2. Bei den Zeigertelegraphen wird die durch den Strom bewirkte Bewegung eines Magneten oder eines vom Electromagneten angezogenen Ankers durch mechanische Vorrichtungen in eine rotirende verwandelt und einem Zeiger mitgetheilt.
3. Die Drucktelegraphen endlich fixiren die Signale so, daß sie sich in eine lesbare Schrift verwandeln.

1. Die Nadeltelegraphen.

Dieselben beruhen auf der Ablenkung eines beweglichen Stahlmagneten durch den galvanischen Strom (s. S. 226. f.); die Wirkung des letzteren wird dadurch verstärkt, daß man dem Leitungsdraht die Form des Multiplicators gibt.

Den vollkommensten Nadeltelegraphen, welcher auch zugleich die Depesche aufschreibt und durch Glockenschläge die Signale hörbar macht, construirte in Verfolgung der Gauß'schen Idee der Professor Steinheil in München bereits 1837. Der Steinheil'sche Telegraph, der unter allen Telegraphen die geringsten Anlage- und Unterhaltungskosten erfordert, ist von keinem der später construirten Nadeltelegraphen erreicht worden; gleichwohl hat derselbe keine weitere Verbreitung gefunden und ist demnach für die Telegraphie der Gegenwart von untergeordneter Bedeutung. Wir wählen daher den englischen Nadeltelegraphen.

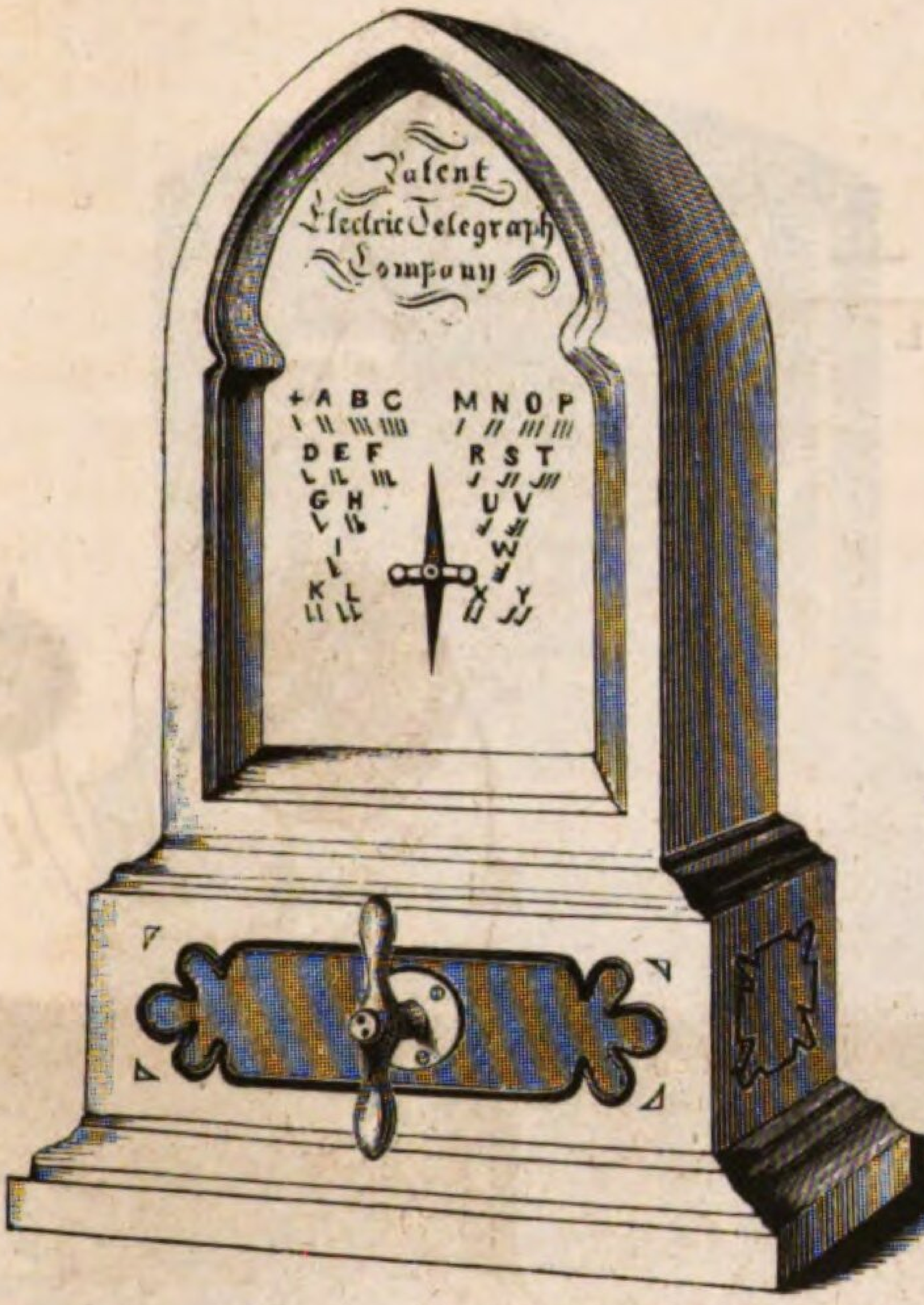
Einfacher Nadel-Telegraph.

Wheatstone und Cooke ließen sich 1837 einen Nadeltelegraphen patentiren, welcher 5 Magnetnadeln enthielt und 6 Leitungsdrähte erforderte. Aus diesem sind durch Vereinfachung nach und nach die jetzt in England fast allgemein gebräuchlichen Nadeltelegraphen entstanden.

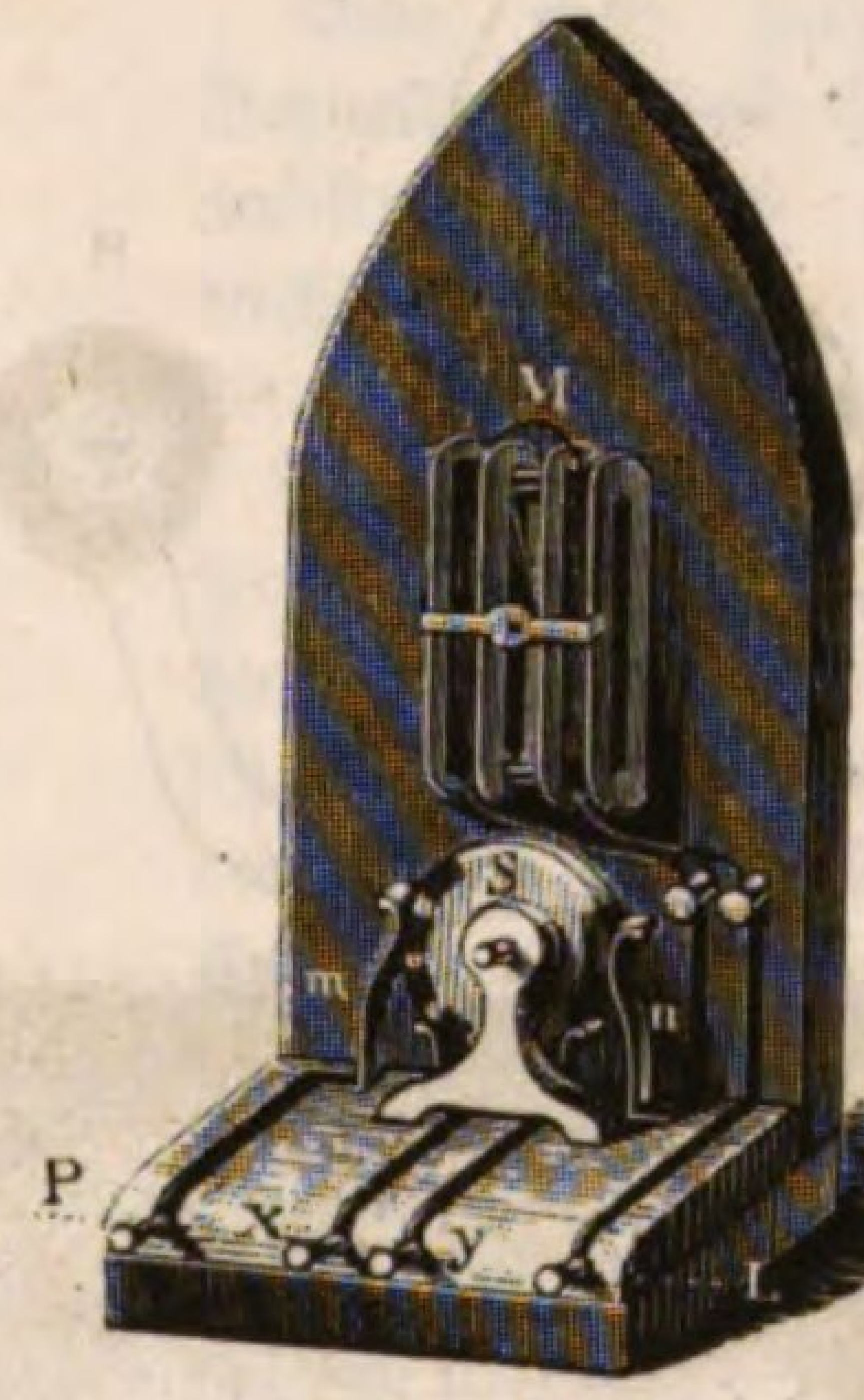
Der einfache Nadeltelegraph Fig. 236 schließt sich ganz eng an die Gauß'sche Idee an, indem durch verabredete Combinationen von Ablenkungen einer Magnetnadel die einzelnen Zeichen signalisirt werden. Doch unterscheidet er sich durch die Anwendung hydroelectrischer Ströme, durch die aufrechte Stellung des Multiplicators, welche das Ablesen erleichtert, und besonders durch die sinnreiche Einrichtung des Schlüssels, durch welche die Manipulation des Telegraphirens sehr vereinfacht ist.

Die innere Einrichtung dieses Telegraphen ist aus Fig. 237 ersichtlich. M ist ein vertical stehender Multiplicator von vielen Umwindungen, zwischen

(Fig. 236.)



(Fig. 237.)

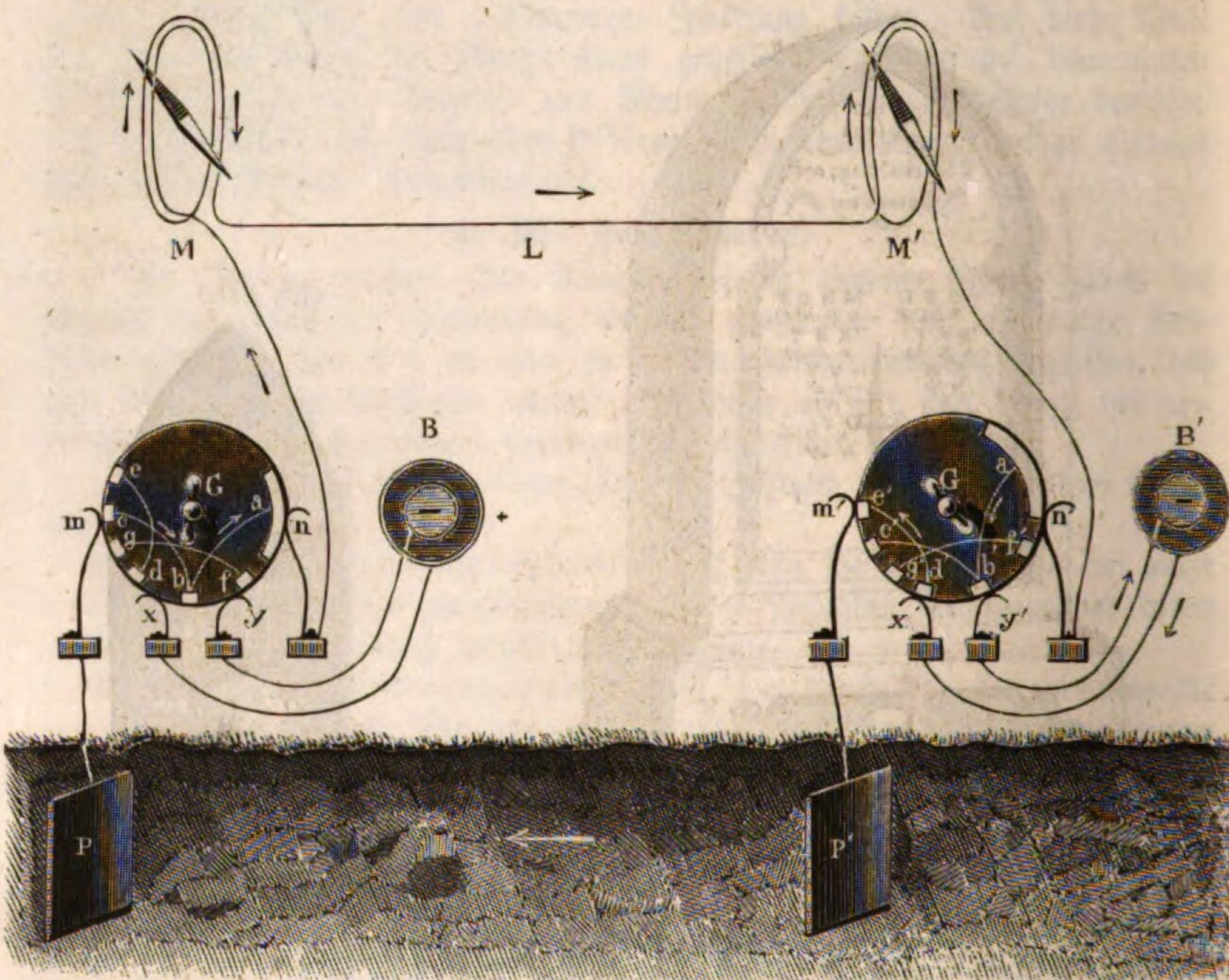


denen eine Magnetnadel in ihrer Ruhelage senkrecht hängt. Nach Art der Schweigger'schen Doppelnadel (Fig. 187, S. 229) ist an derselben, durch die Vorderwand des Schränkchens gehenden Axe eine zweite Magnetnadel mit umgekehrter Stellung der Pole befestigt, welche zugleich als Zeiger dient (s. Fig. 236.) An dem unteren Theile der Vorderseite ist ein Griff angebracht, mittelst dessen eine kreisförmige Scheibe S (Fig. 237), der s. g. Schlüssel, innerhalb gewisser durch Aufhälter bestimmter Grenzen um etwa 30 Grade nach rechts und eben so weit nach links gedreht werden kann. Hierdurch wird die Batterie geschlossen und dem Strome eine solche Richtung gegeben, daß durch denselben die Nadeln sämmtlicher in die Kette eingeschalteten Apparate eine Ablenkung erleiden, welche der Drehung des Griffes parallel ist.

Wie dies geschieht, möge durch die schematische Figur 238 deutlich werden. G bezeichnet den Griff, mittelst dessen die hölzerne kreisförmige Scheibe gedreht werden kann. In den Umfang dieser Scheibe sind 7 Metallstücke a, b, c, d, e, f, g eingelegt, deren jedes gegen die benachbarten Stücke isolirt ist, doch steht a mit b und c, d mit e, und f mit g durch Metallstreifen, die sich unter einander nicht berühren, in leitender Verbindung. Gegen den Umfang des Schlüssels schleifen vier federnde Metallstreifen: x ist mit dem positiven, y mit dem negativen Pole der Batterie B, m mit der Erdplatte P, und n mit dem Multiplicator M verbunden; das andere Ende des Multiplicatordrahts geht nach der Drahtleitung L.

Wenn die Griffe beider Apparate senkrecht stehen, so ist kein Strom vorhanden, weil x und y auf Holz schleifen (Fig. 238 links) und die Nadeln hängen senkrecht. Wird dagegen der Griff gedreht, so kommen die beiden Federn x und y auf Metall. Beim Drehen nach rechts schleift die

(Fig. 238.)

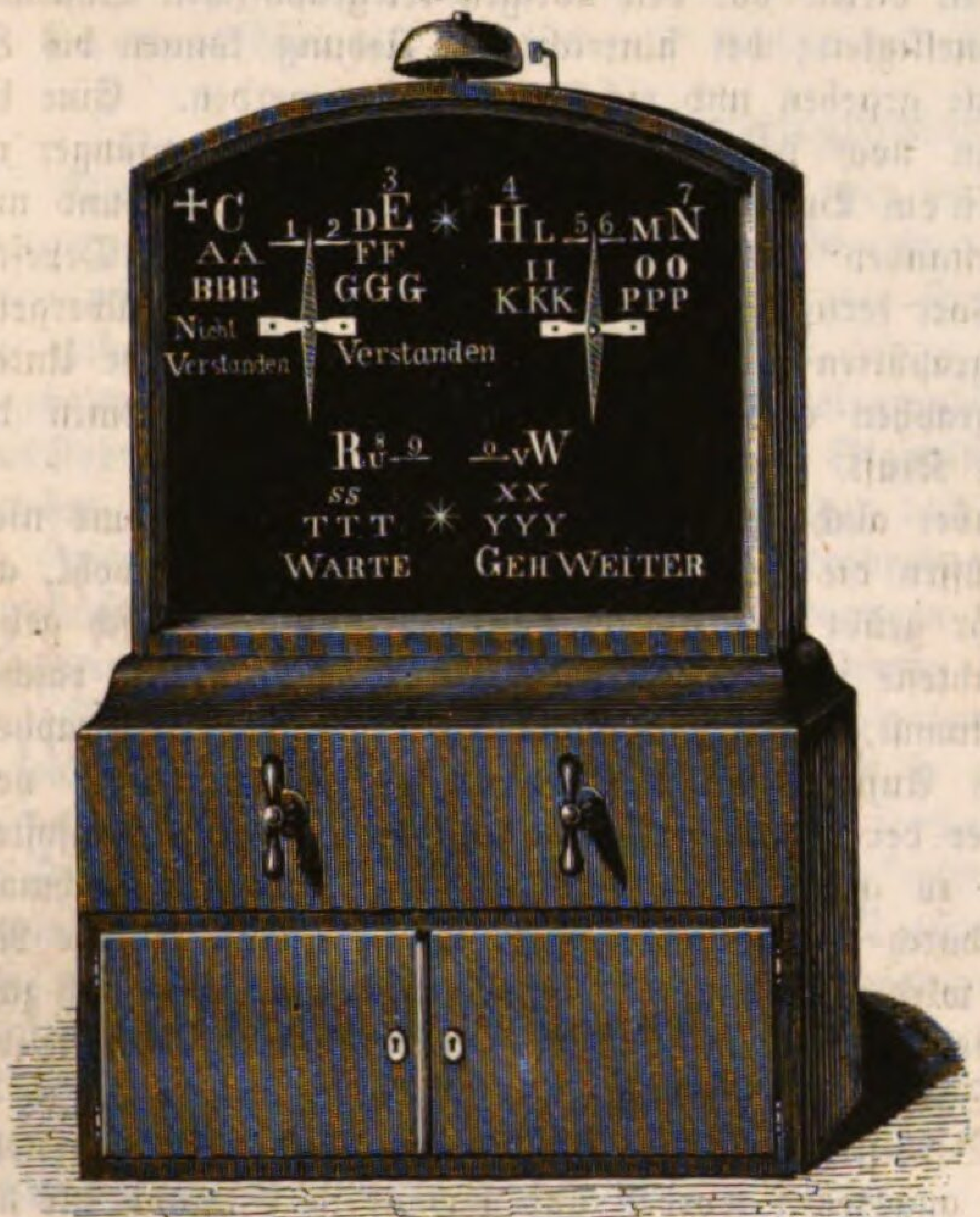


Feder x auf b, y auf f, m auf g; beim Linksdrehen x auf d, y auf b und m auf e. Letzterer Fall ist an dem Apparate rechts dargestellt. Die Batterie B′ ist jetzt so geschlossen, daß der positive Strom folgenden Weg nimmt: +B′, x′, d′, e′, m′, P′, P, m, c, b, a, n, M, L, M′, n′, a′, b′, y′, B′—. Er geht also durch die Multiplicatoren beider Apparate in gleicher Richtung, und zwar so, daß die Nadeln nach links gedreht werden. Wird dagegen der Griff G′ nach rechts gedreht, so ist der Weg des Stromes: + B′, x′, b′, a′, n′, M′, L, M, n, a, b, c, m, P, P′, m′, g′, f′, y′, B′ —; folglich geht er jetzt durch beide Multiplicatoren umgekehrt wie vorher und dreht dem entsprechend die Nadeln nach rechts.

Wie man sieht, muß der Schlüssel desjenigen Apparates, welcher die Depesche empfängt, in der Ruhelage stehen.

Die Combinationen der Ausschläge nach rechts und links, durch welche die einzelnen Buchstaben bezeichnet werden, sind auf der Vorderwand des Telegraphen Fig. 236 angedeutet. Die Striche / bezeichnen die Ausschläge des oberen Nadelendes nach links, \ nach rechts. So wird O durch 3 Ausschläge nach rechts, A durch 2 Schläge nach links bezeichnet. Die kurzen Striche, welche ein zusammengesetztes Zeichen enthält, werden immer zuerst signalisirt, z. B. D = rechts, links; S = links, rechts, rechts; H = rechts rechts, links, links; K = links, rechts, links; W = links, links, links, rechts u. s. w. Die Buchstaben sind stets auf derjenigen Seite zu suchen, welche durch den letzten Ausschlag der Nadel angegeben wird. Zwischen je 2 Buchstaben wird eine kleine Pause gemacht; das Ende eines Wortes wird durch das Schlußzeichen + angezeigt.

(Fig. 239.)



Da die Buchstaben meist aus 3 bis 4 einzelnen Ausschlägen bestehen, so geht das Telegraphiren ziemlich langsam, und erfordert viel Uebung, besonders aber das Ablesen.

Eine weit größere Schnelligkeit des Signalisirens, und viel leichteres Ablesen ist beim **Doppelnadel-Telegraphen**, Fig. 239 möglich, welcher den vorher beschriebenen fast überall verdrängt hat. Der Apparat ist nichts weiter als die Combination zweier einfachen Nadeltelegraphen. Das Signalisiren und Ablesen ist dadurch viel übersichtlicher, daß die Buchstaben in 3 Gruppen getheilt sind; die Buchstaben oben links werden mit dem oberen Ende der linken Nadel, die oben rechts mit dem oberen Ende der rechten Nadel bezeichnet, die untere Gruppe endlich durch die parallele Bewegung beider Nadeln. Doppelnadel-Telegraph.

Linke Nadel.			Rechte Nadel.			Beide Nadeln.		
+ Schlußzeichen	=	\	H(4)	=	\	R(8)	=	//
A	=	\\	I	=	\\	S	=	// //
B	=	\\\	K	=	\\\	T	=	// // //
C(1)	=	/\	L(5)	=	/\	U(9)	=	\\//
D(2)	=	\/	M(6)	=	\/	V(0)	=	//\\
E(3)	=	/	N(7)	=	/	W	=	\\
F	=	//	O	=	//	X	=	\\ \\
G	=	///	P	=	///	Y	=	\\ \\ \\

Die Zahlen werden durch dieselben Zeichen signalisirt wie die Buchstaben C, D, E, H, L, M, N, R, U, V; um den Uebergang von der Buchstabenschrift zu den Zahlen anzuzeigen, werden die Zeichen + H + telegraphirt. Wenn ein Wort zu Ende ist, wird das Schlußzeichen + gemacht; der Empfänger der Depesche telegraphirt dann sogleich zurück: E, wenn er das Wort „verstanden“, + wenn er es „nicht verstanden“ hat; im letzteren Falle muß dasselbe also wiederholt werden. Das Signal „Warte“ (+R+) wird gegeben, wenn der Empfänger eben keine Zeit hat, die Depesche entgegen zu nehmen; ist derselbe dazu bereit, so giebt er das Signal „Geh weiter“ (+W+).

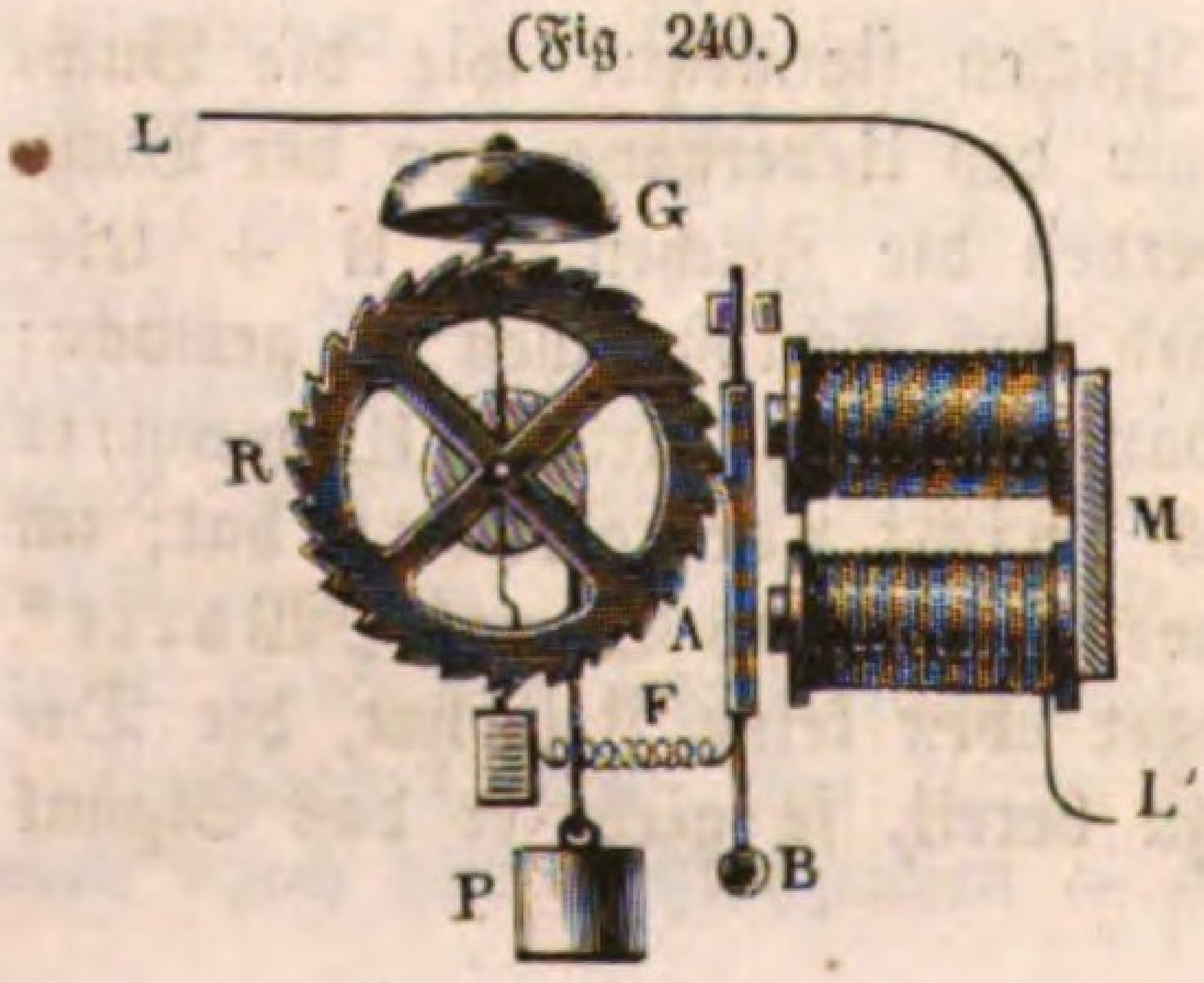
Die Nadeltelegraphen bieten vor den übrigen telegraphischen Systemen den Vortheil großer Schnelligkeit; bei hinreichender Uebung können bis 80 Buchstaben in der Minute gegeben und richtig abgelesen werden. Eine bedeutende Abkürzung kann noch dadurch eintreten, daß der Empfänger oft aus wenigen, ja aus einem Buchstaben das ganze Wort erkennt und nun sofort das Zeichen „Verstanden" gibt, worauf der Absender der Depesche sofort, ohne erst dies Wort fertig zu buchstabiren, zum folgenden übergeht. Das Hin- und Hertelegraphiren erlangt dadurch den Charakter der Unterredung. Die Nadeltelegraphen erfordern ferner unter allen Systemen die geringste electromotorische Kraft.

Andererseits sind aber auch gewichtige Nachtheile dieses Systems nicht zu verkennen. Einmal müssen die Telegraphisten im Zeichengeben sowohl, als besonders im Ablesen sehr geübt sein, wenn das Telegraphiren rasch gehen soll; aber auch der Geübteste ist nicht jederzeit zur lebendigen und raschen Auffassung gleich gut gestimmt, und daher kommen bei den Nadeltelegraphen, welche eine sehr scharfe Aufmerksamkeit erfordern, leicht Irrthümer vor. Diese Unsicherheit ist aber der größte Fehler, welchen ein Telegraphensystem haben kann. Um sicher zu gehen, läßt man wichtige Depeschen nochmals zurück telegraphiren, wodurch aber die oben gerühmte Schnelligkeit der Nadeltelegraphen illusorisch wird. Endlich hat der Doppelnadel-Telegraph zwei Leitungsdrähte nöthig, wodurch die Anlagekosten sich bedeutend höher stellen, als bei jedem anderen System.

Einige wesentliche Verbesserungen des Wheatstone-Cooke'schen Nadeltelegraphen sind von Bain angegeben worden und sowohl in England als auf einigen österreichischen Bahnen in Anwendung. Da das Prinzip wesentlich dasselbe ist, so übergehen wir diesen Telegraphen.

Alarm. Da die Nadeltelegraphen beim Arbeiten kein hörbares Geräusch hervorbringen, so bedürfen sie einer Alarmvorrichtung oder eines Weckers, um den Empfänger der Depesche aufmerksam zu machen. Hierzu dienen sehr verschiedene Vorrichtungen. Man kann durch den galvanischen Strom ein weiches Eisen abwechselnd magnetisch und durch Aufhören des Stromes dasselbe unmagnetisch machen, ein in der Nähe befindlicher Stab von weichem Eisen (ein s. g. Anker) wird dann durch die magnetische Anziehung in Bewegung gesetzt werden und einen Schlag auf die Glocke thun. Da jedoch die durch sehr lange Drähte geleiteten Ströme selten die genügende Stärke besitzen, um so kräftige Bewegungen hervorzubringen, so wendet man den Strom gewöhnlich nur an, um ein kleines Weckerwerk, welches wie bei den gewöhnlichen Weckeruhren durch ein Gewicht oder eine Feder getrieben wird, auszulösen. Fig. 240 gibt eine derartige Alarmvorrichtung einfachster Construction. So lange durch den Leitungsdraht LL' kein galvanischer Strom geht, wird der eiserne Anker A, der um den Punkt B drehbar ist, durch die Feder F so angezogen, daß er das Rad R mittelst eines Vorsprunges hemmt; geht aber durch LL' ein Strom, so wird das vielfach mit Leitungsdraht umwundene Eisen M magnetisch und zieht den Anker A an; dieser hört auf das Rad R zu hemmen, dasselbe wird nun durch das

(Fig. 240.)



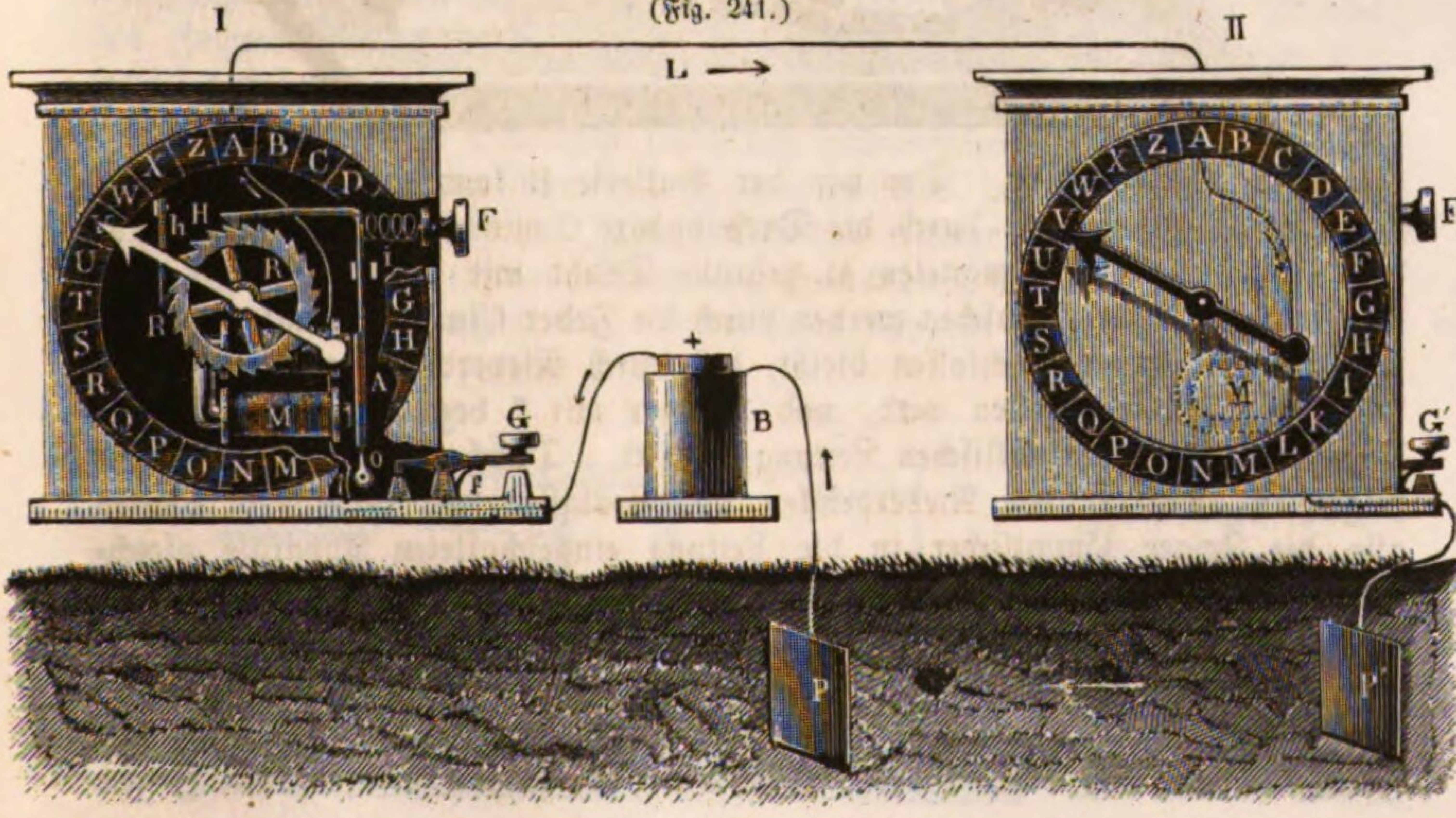
Gewicht P umgedreht und dadurch die Glocke G so lange angeschlagen, bis der Strom aufhört und die Feder F wieder das Uebergewicht erlangt.

2. Die Zeigertelegraphen.

Diese Klasse umfaßt eine große Anzahl der verschiedenartigsten und complicirtesten Apparate. Sie stimmen darin überein, daß ein Zeiger sich auf einem mit den Buchstaben und Zahlen besetzten Kreise herumdreht und von der entfernten Station aus willkürlich vor jedem dieser einzelnen Zeichen angehalten werden kann. Diese Art zu telegraphiren, wo der betreffende Buchstabe direct gezeigt wird, hat vor dem Signalisiren mit dem Nadeltelegraphen den entschiedenen Vortheil, daß weder das Geben noch das Ablesen der Zeichen eine besondere Uebung oder Verabredung verlangt; sie hat also hauptsächlich bei Eisenbahnen und allen derartigen Einrichtungen, wo keine besonderen Telegraphisten angestellt werden können, Eingang gefunden.

So einfach bei diesem System die Manipulation des Telegraphirens, so leicht das Ablesen der gegebenen Zeichen ist, so große Schwierigkeit macht es, vollkommene Gleichmäßigkeit des Ganges, fortdauernde Uebereinstimmung der Zeiger aller verbundenen Apparate mit der erforderlichen Schnelligkeit zu verbinden. Auf keinen Zweig der electrischen Telegraphie ist so viel Scharfsinn verwandt, in keinem sind so bewundernswürdige Resultate erlangt worden, besonders von deutschen Erfindern, wie Siemens und Halske, Kramer, Stöhrer, Leonhard, Drescher u. A. In der Complication der hieher gehörigen Apparate liegt zugleich der Grund, weßhalb dieselben mit größter Schonung und Vorsicht behandelt werden müssen; je complicirter ein Apparat construirt ist, desto schwieriger ist es, die Ursache einer etwa eingetretenen Störung zu erkennen und zu beseitigen. Dieser Umstand ist es hauptsächlich, welcher der Verbreitung der Zeigertelegraphen in den letzten Jahren entgegengetreten ist; überall werden dieselben nach und nach von den Drucktelegraphen verdrängt. Da wir einen Ueberblick über die Telegraphie der Gegenwart geben wollen, so müssen wir uns darauf beschränken, von dieser in technischer Beziehung interessantesten Klasse der Telegraphen nur so viel zu geben, als zum allgemeinen Verständniß nöthig ist. Fig. 241 zeigt die Com=

(Fig. 241.)

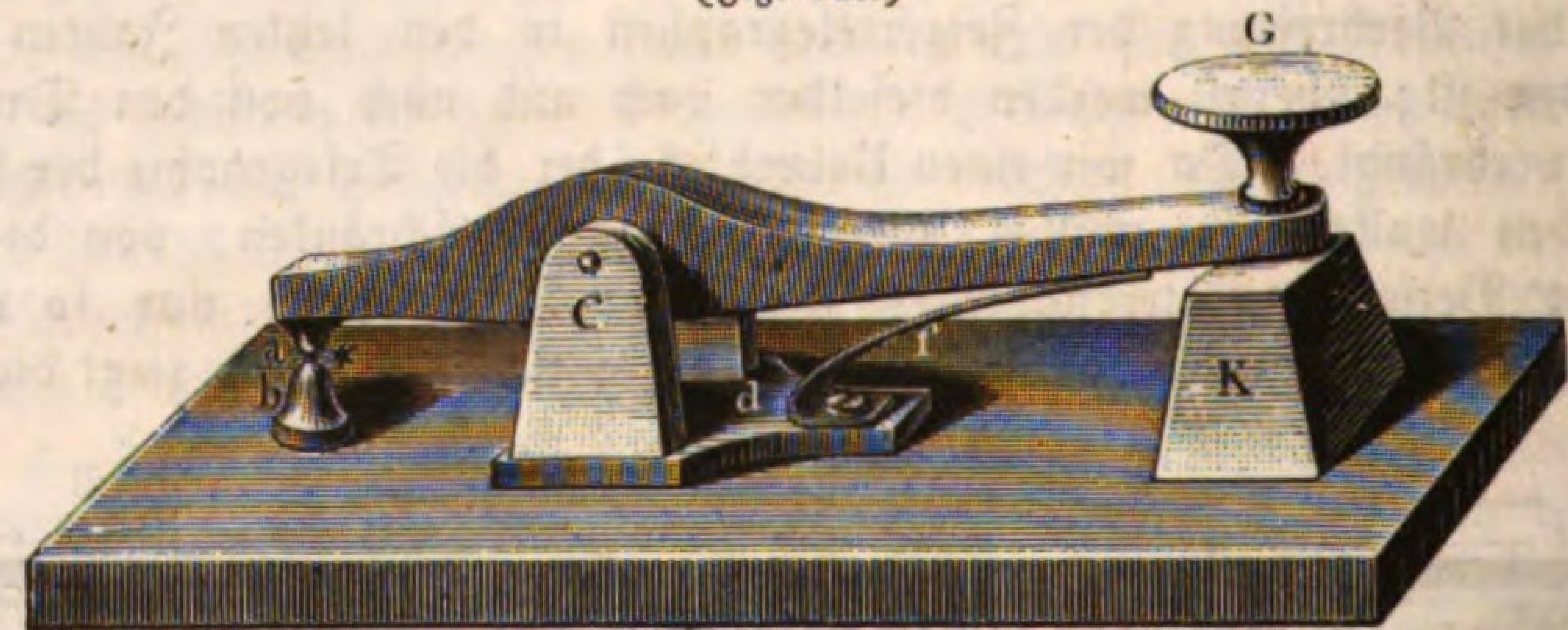


Einfacher Zeigertelegraph.

bination zweier ganz einfachen Zeigertelegraphen, wovon der eine durchsichtig gezeichnet ist, um die innere Einrichtung sichtbar zu machen, welche bei beiden ganz gleich ist. Vor dem festen Electromagneten M befindet sich der um den Punkt O bewegliche Anker A, welcher an seinem oberen Ende einen horizontalen, leicht federnden Arm mit einem kleinen Haken H trägt, der in das gezahnte Rädchen R eingreift. So lange ein galvanischer Strom um das weiche Eisen des Electromagneten kreist, wird der Anker angezogen und behält die Stellung bei, in welcher er Fig. 241 gezeichnet ist; wird der Strom unterbrochen, so hört der Magnetismus auf, und der Anker wird durch die Abreißfeder F nach rechts gezogen. Die Grenzen dieser Bewegung sind durch die Aufhälter i so regulirt, daß der Haken beim Anziehen des Electromagneten jedesmal über und hinter einen Zahn des Rädchens R greift, und beim Anziehen der Abreißfeder dasselbe um einen Zahn nach rechts weiter rückt. Durch den Haken h wird die rückgängige Bewegung des Rades verhindert. Da die Anzahl der Zähne der Anzahl der auf dem großen Kreise verzeichneten Buchstaben entspricht, so geht bei jeder Unterbrechung des galvanischen Stromes der auf der Axe des gezahnten Rades befestigte Zeiger um einen Buchstaben weiter. Da alle der Einwirkung des galvanischen Stromes ausgesetzten Electromagneten sich in dieser Beziehung ganz gleich verhalten, so werden im vorliegenden Falle die Zeiger beider auf verschiedenen Stationen stehenden Apparate ganz gleichmäßig so oft um einen Buchstaben weiter gehen, als der im Zustande der Ruhe geschlossene Strom an irgend einer Stelle unterbrochen wird.

Jeder Apparat hat behufs der Zeichengebung eine Vorrichtung zur Unterbrechung des Stromes, einen sogenannten Schlüssel G, der in Fig. 242

(Fig. 242.)



besonders abgebildet ist. Der von der Batterie B kommende Draht ist mit der Metallplatte d, also durch die Drehungsaxe C mit dem Metallknöpfchen a, der nach dem Electromagneten M gehende Draht mit dem Knöpfchen b in Verbindung; beide Knöpfchen werden durch die Feder f in Berührung gehalten, wodurch der Strom geschlossen bleibt, bis durch Niederdrücken des Griffes G das Knöpfchen a gehoben wird, und an der mit * bezeichneten Stelle eine Unterbrechung der metallischen Leitung eintritt. Durch schnell auf einander folgendes abwechselndes Niederdrücken und Loslassen des Griffes G werden also die Zeiger sämmtlicher in die Leitung eingeschalteten Apparate gleichmäßig weiter gehen bis zu dem zu signalisirenden Buchstaben, wo eine kleine Pause gemacht wird.

Es ist einleuchtend, daß mit diesen Apparaten eben so gut von Station I nach II, als von II nach I signalisirt werden kann. Das Schließen mit der Hand läßt sich dadurch etwas bequemer machen, daß man den Zeiger

selbst in den Strom einschaltet und denselben auf einem Kreise herumdreht, welcher eben so viele Metallknöpfchen trägt, als Buchstaben vorhanden sind, so daß also beim Vorwärtsdrehen des Zeigers eben so viele Schließungen und Unterbrechungen eintreten, als der Zeiger Buchstaben passirt. Allein hierbei treten mancherlei Uebelstände ein. Dreht man den Zeiger rasch, so kann er leicht über das beabsichtigte Ziel hinausgehen; alsdann ist man genöthigt, ihn den ganzen Kreis nochmals durchlaufen zu lassen. Jeder Körper braucht eine gewisse Zeit, um aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung überzugehen; erfolgt das Oeffnen und Schließen zu rasch, so kann auf der entfernten Station der Anker nicht folgen und der Zeiger bleibt zurück; hat aber die Uebereinstimmung beider Zeiger einmal aufgehört, so wird jedes nachfolgende Signal falsch. Zu langsames Telegraphiren führt dagegen einen schädlichen Zeitverlust herbei. Die menschliche Hand ist aber nie im Stande, so genau das richtige Tempo einzuhalten. Man übergab daher das Oeffnen und Schließen einem Uhrwerk, dessen Geschwindigkeit ganz genau nach der Stromstärke regulirt werden kann. Die Einrichtung ist dabei so getroffen, daß der Telegraphist Nichts weiter zu thun hat, als dem rotirenden Zeiger an der Stelle des zu signalisirenden Buchstaben ein Hinderniß entgegen zu stellen. An dem durch das Uhrwerk gedrehten Zeiger selbst ist die Vorrichtung zum Unterbrechen und Schließen angebracht, und mit dem Stillstehen des Zeigers hört also auch das Wechselspiel des Schließens und Unterbrechens auf und folglich auch die Rotation der Zeiger an den in die Leitung eingeschalteten Apparaten.

Allein auch diese Einrichtung erwies sich als unzureichend, weil die Geschwindigkeit der Bewegung des Ankers sich nach der Intensität des Stromes richtet und diese häufigen Schwankungen unterliegt. Bei kräftigem Strome darf das Uhrwerk schneller gehen; tritt nun durch allmählige Abnutzung der Batterie oder durch feuchtes Wetter eine Schwächung des Stromes ein, so wird eine neue Regulirung des Uhrwerks nöthig. Diesem Uebelstande ist von **Siemens** auf eine äußerst sinnreiche Weise abgeholfen worden.

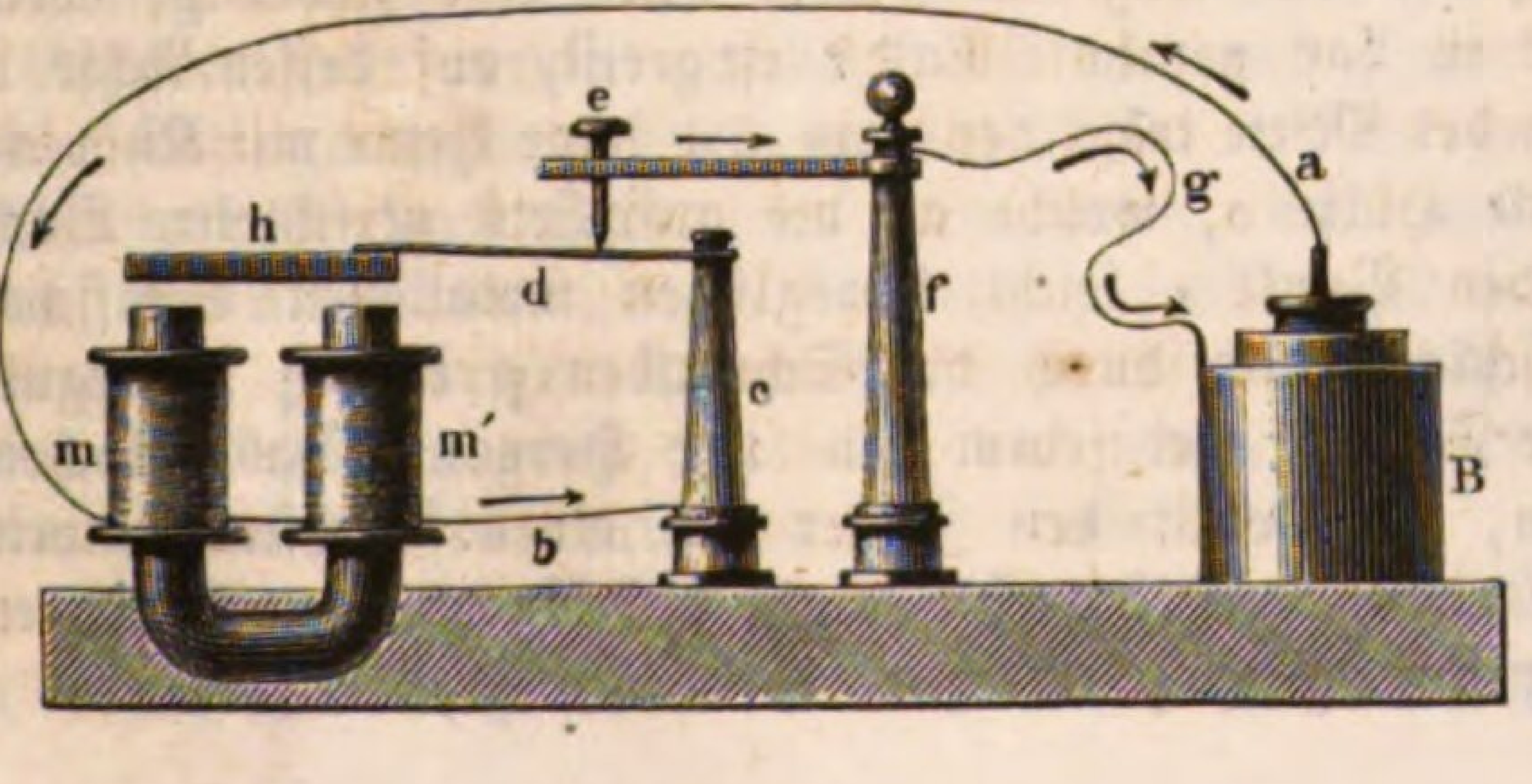
Siemens' und Halske's galvanischer Zeigertelegraph.

Da der ältere **Siemens-Halske**'sche Zeigertelegraph noch immer ziemlich verbreitet ist, z. B. auf den meisten preußischen Eisenbahnen, so wollen wir wenigstens die Grundidee dieses Apparates geben, bei welchem die Drehung des Zeigers sowohl von der Hand des Telegraphisten, als von einem Uhrwerk, überhaupt von jedem fremden Einfluß unabhängig gemacht ist, indem das Unterbrechen und Schließen durch den galvanischen Strom selbst geschieht — offenbar der einzig sichere Weg, um zwischen der Stromstärke und der Drehungsgeschwindigkeit des Zeigers stets das richtige Verhältniß zu erhalten.

Selbstunterbrechung.

Das Prinzip der von Siemens angewandten **Selbstunterbrechung** wollen wir durch den Fig. 243 abgebildeten Apparat erläutern. mm′ ist ein weiches Eisen, welches magnetisch wird, sobald durch den umgewickelten Draht ein galvanischer Strom geht. Ueber ihm schwebt, an einer Metallfeder d befestigt, ein Anker h von weichem Eisen;

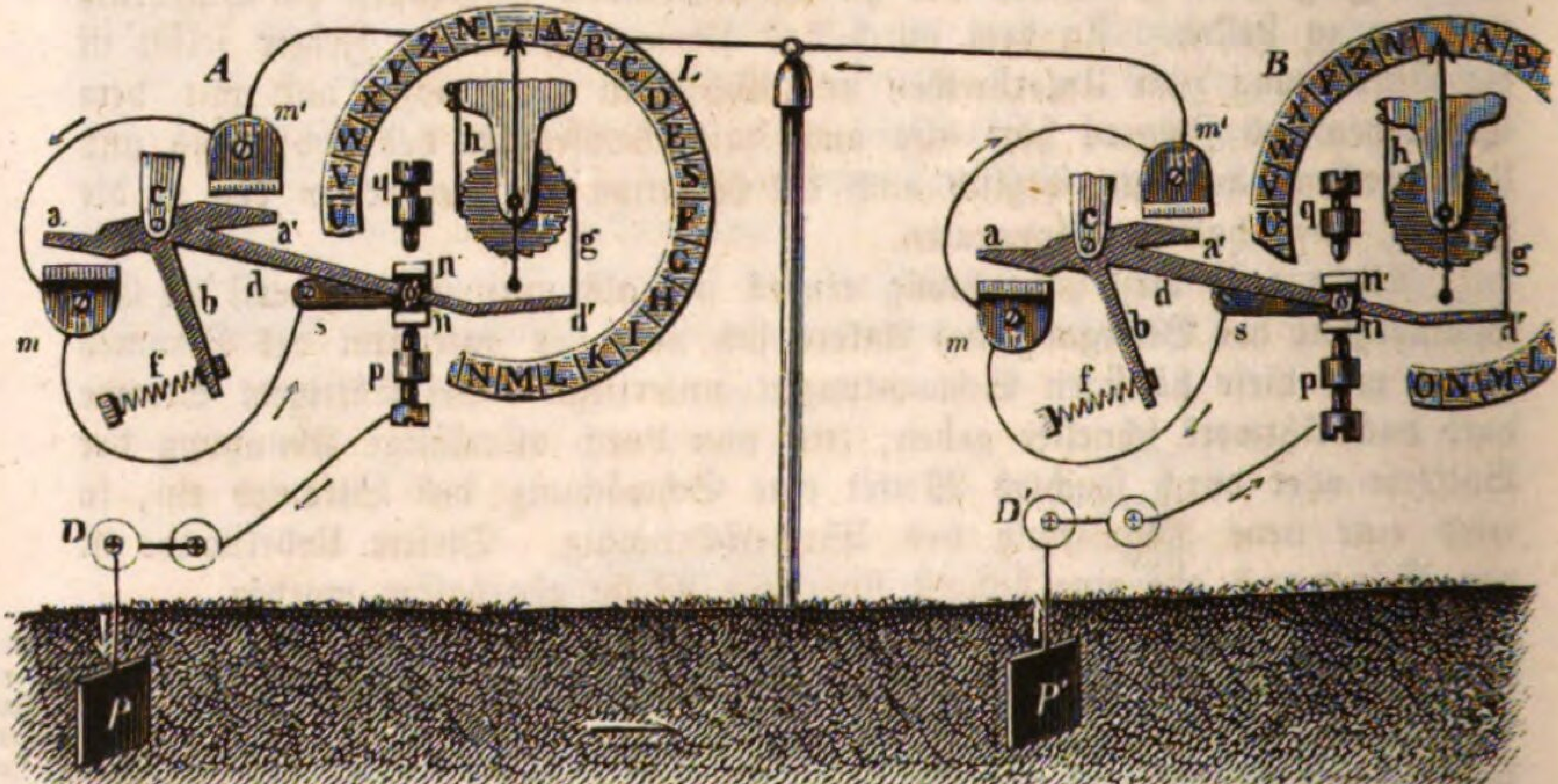
(Fig. 243.)



dieser wird, sobald mm′ magnetisch ist, angezogen, die Feder d biegt sich ein wenig nach unten und hört auf, die Stellschraube e zu berühren. Hier tritt also eine Unterbrechung des Stromes Bamm′bcdefgB ein; folglich hört der Magnetismus von mm′ augenblicklich auf, bevor der Anker h die Pole des Magneten erreicht hat, die Feder schwingt vermöge ihrer Elasticität zurück, und durch die wiederhergestellte Berührung von d und e wird mm′ wieder magnetisch, zieht den Anker an und unterbricht den Strom aufs neue. Dies Spiel wiederholt sich fortwährend, und die Folge ist eine außerordentlich rasche schwingende Bewegung des Ankers h.

Diese schon früher bekannte, beim Neeff'schen Apparate (s. S. 235 f.) angewandte Selbstunterbrechung des galvanischen Stromes vermöge seiner magnetisirenden Wirkung ist in dem Siemens-Halske'schen Telegraphen mit der hinzutretenden Bestimmung benutzt, daß die Schwingungen des Ankers eine genau abgemessene, stets gleiche Größe haben, nämlich die Weite eines Zahns des Zeigerrades. Fig. 244 giebt ein schematisches Bild dieses Mechanismus im horizontalen Durchschnitt, mit Hinweglassung der zum Theil

(Fig. 244.)



sehr complicirten Nebenapparate. m und m′ sind die mit s. g. Schuhen von weichem Eisen versehenen Pole eines aufrecht stehenden Electromagneten, aa′ ist ein Anker von weichem Eisen, welcher in c seinen Drehpunkt hat und mit dem kürzeren Hebel b und dem längeren Arme dd′ verbunden ist. An dem Hebel b wirkt die Feder f so, daß sie den Anker von den Polen des Magneten abreißt. Der Hebel dd′ trägt an seinem Ende eine Feder g, welche mittelst eines Häkchens in das gezahnte Rad r eingreift, auf dessen Achse der Zeiger befestigt ist; in der Mitte trägt der Arm dd′ eine kleine mit Knöpfchen von Elfenbein versehene Hülse o, welche an die aufwärts gerichteten Backen n und n′ eines um den Punkt s leicht beweglichen metallenen Schiffchens anschlägt, dessen Ausschlagsweite durch die Schrauben p und q so regulirt ist, daß der Haken der Feder g bei jedem Hin- und Hergange das Rädchen r genau um einen Zahn, und somit den Zeiger um einen Buchstaben weiter dreht. Der Haken h dient dazu, die Bewegung des Rades r nach der entgegengesetzten Richtung unmöglich zu machen.

Der galvanische Strom nimmt den durch die Pfeile angedeuteten Weg: vom positiven Pole der Batterie D' durch die Schraube p nach der Backe n des Schiffchens s, von diesem um den Electromagneten mm'; durch den Leitungsdraht L nach der Station A, und dort in gleicher Weise durch den Apparat zum negativen Pole der Batterie D, von dieser aus durch die Erde zurück nach der Station B.

Durch die Einwirkung des galvanischen Stromes werden die Electromagneten der eingeschalteten Apparate im gleichen Augenblicke magnetisch, ziehen also ihre Anker aa' an und es erfolgt eine Drehung des Hebels dd' nach oben, so daß die Feder g über und hinter den folgenden Zahn des Rades r greift. Gleichzeitig stößt aber auch das Knöpfchen o gegen die Backe n', reißt dadurch das Schiffchen s von der Schraube p los, und der Strom wird somit zwischen n und p unterbrochen. Hierdurch hört die magnetische Kraft augenblicklich auf; der Anker wird durch die Abreißfeder f wieder nach unten gezogen und das Rädchen r um einen Zahn weiter gerückt, zugleich aber auch das Schiffchen s wieder mit der Schraube p in Berührung gebracht, folglich der Strom aufs Neue geschlossen, und der Anker von den Magnetpolen angezogen. Auf diese Weise wechseln in rascher Folge Unterbrechung und Schließung des Stromes.

Es ist klar, daß dies Spiel so lange dauern, also beide Zeiger ganz gleichmäßig umlaufen müssen, so lange die vereinigten Batterien D und D' die erforderliche electromotorische Kraft entwickeln. Um nun einen Buchstaben zu signalisiren, wird der eine Zeiger an der betreffenden Stelle mittelst eines ringsum angebrachten Tastenwerks angehalten, und zwar in dem Augenblicke, wo das Schiffchen s mit der Schraube p nicht in Verbindung, also der Strom unterbrochen ist. Vermöge dieser Unterbrechung kommt auch der Zeiger der anderen Station zur Ruhe. Beim Loslassen der Taste wird durch die Feder f die Berührung zwischen n und p wieder hergestellt, also der Strom aufs Neue geschlossen, und das gleichzeitige Rotiren der Zeiger beginnt wieder und dauert so lange, bis beim nächsten Buchstaben, der signalisirt werden soll, der Zeiger durch die niedergedrückte Taste wieder aufgehalten wird.

Jeder Apparat enthält einen Wecker, der ganz nach demselben Prinzip construirt ist, bei welchem aber statt des Häkchens g ein kleiner Hammer hin und her bewegt wird, welcher an eine Glocke anschlägt. In der Ruhestellung schaltet der Telegraphist den Zeigerapparat aus und dafür den Weckerapparat ein, bis ihm durch das Glöckchen desselben die Anzeige einer bevorstehenden Depesche gegeben wird.

Die Handhabung dieses Telegraphen ist sehr leicht; weder das Signalisiren, noch das Ablesen erfordert eine besondere Einübung. Die Rotation der Zeiger erfolgt sehr schnell und durch die sinnreiche Anwendung der Selbstunterbrechung dennoch vollkommen gleichmäßig, — vorausgesetzt, daß der Apparat sehr genau gearbeitet ist und mit großer Schonung behandelt wird. Die geringste Abnutzung eines der vielen zum Theil sehr zarten Maschinentheile kann Störungen hervorrufen; doch nicht bloß diese Complication des Apparates ist ein Nachtheil, sondern es setzt auch die Instandhaltung der zugehörigen Daniell'schen Batterie (Fig. 226, S. 355) eine größere Sorgfalt voraus, als von den meistens ungeübten und vielbeschäftigten niederen Eisenbahnbeamten zu erwarten ist.

Neuerdings ist aus derselben rühmlichst bekannten Telegraphenbauanstalt von Siemens und Halske in Berlin ein besonders für den Eisenbahndienst

Simens' und Halske's Inductions-Zeigertelegraph.

geeigneter Inductions-Zeigertelegraph hervorgegangen, bei welchem jene Uebelstände auf eine ausgezeichnete Weise vermieden sind und der alle bisherigen Zeigertelegraphen in jeder Hinsicht weitaus übertrifft.

(Fig. 245.)

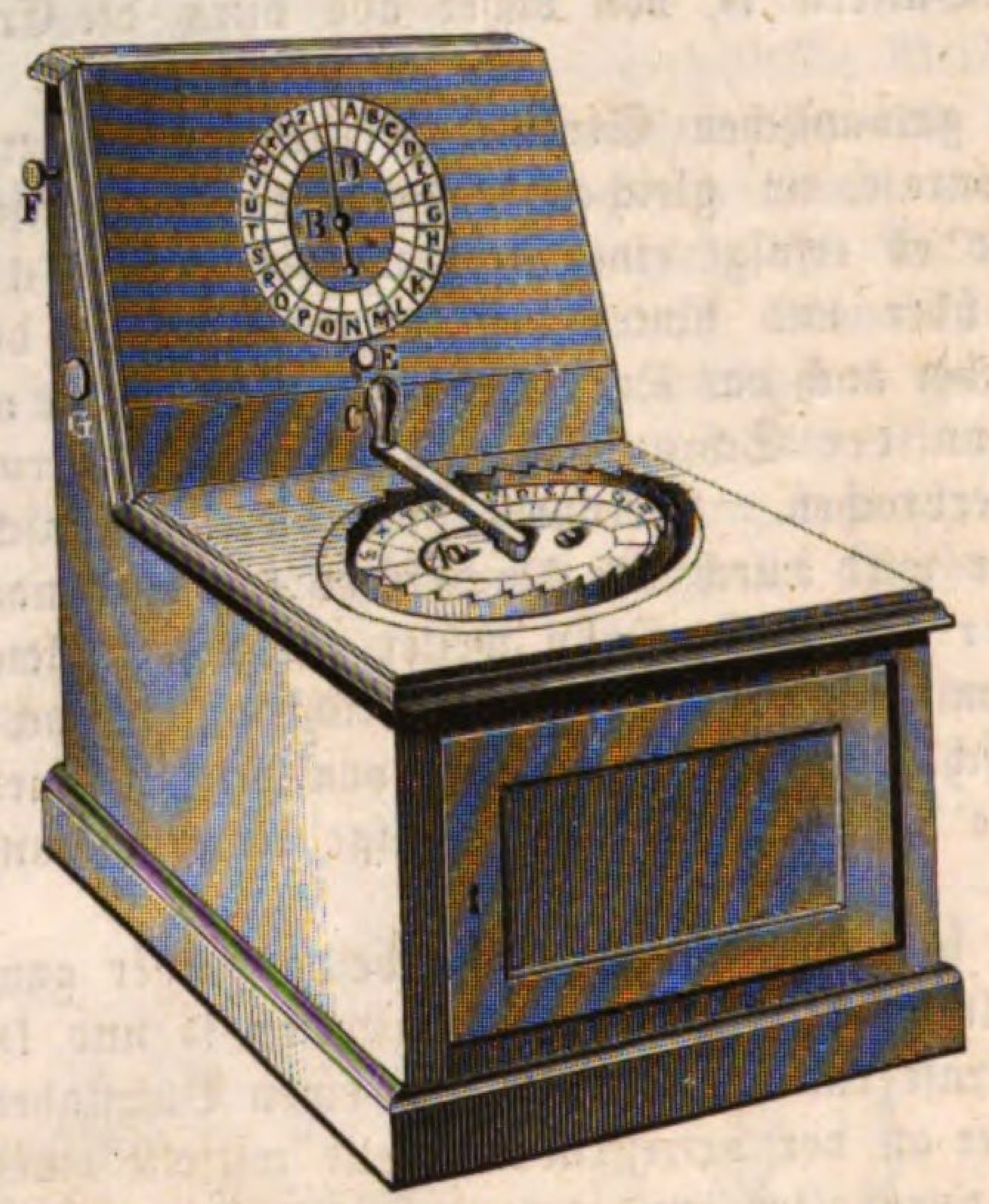
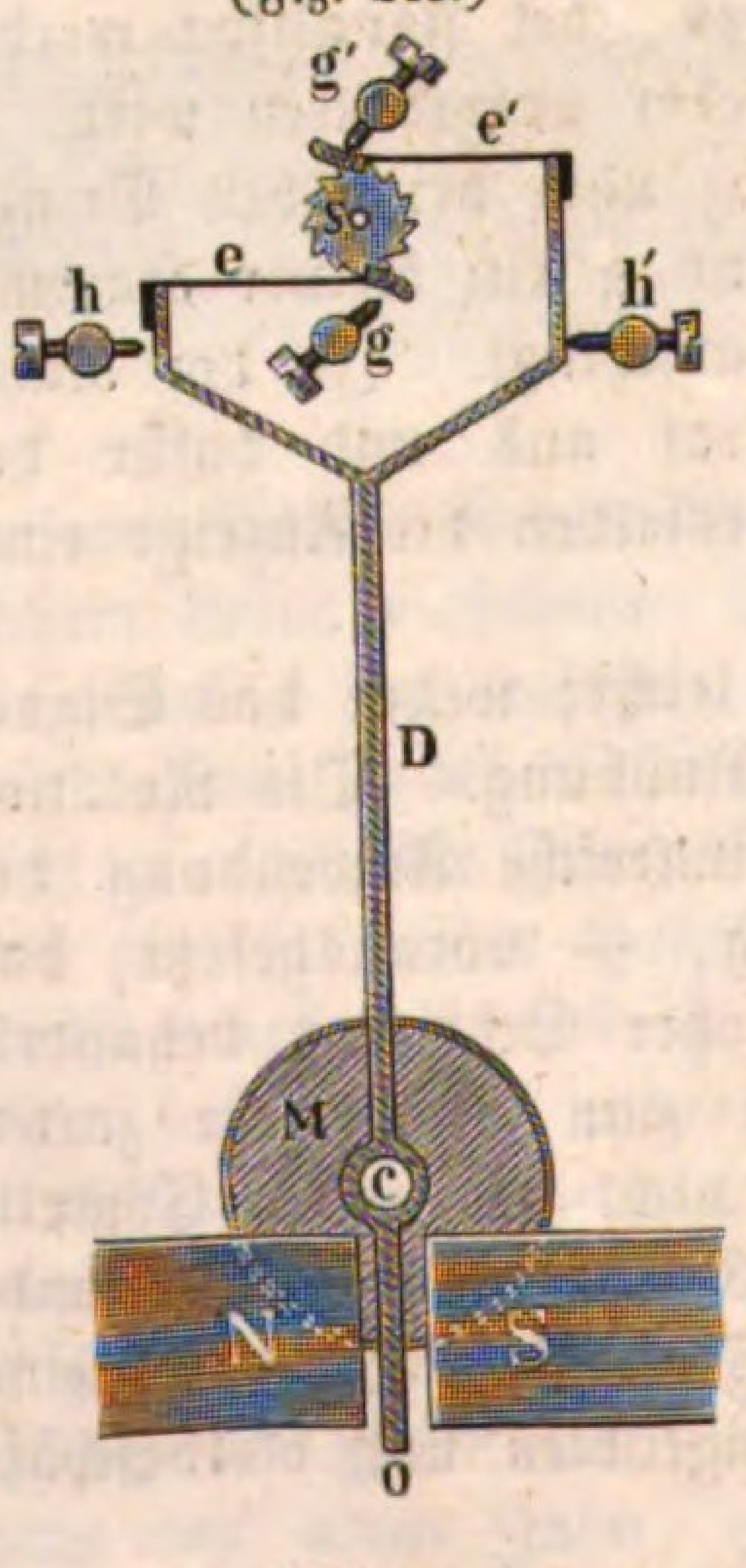


Fig. 245 ist die äußere Ansicht dieses höchst compendiösen Apparates, der eine hydroelectrische Batterie nicht erfordert. Die electromotorische Kraft wird durch die Umdrehung der Kurbel C erzeugt. Diese steht nämlich durch Zahnräder mit einem zwischen den Polen mehrerer Stahlmagneten drehbaren, mit isolirtem Kupferdraht umwundenen Eisenkern so in Verbindung, daß dieser jedesmal eine halbe Umdrehung macht, wenn die Kurbel um $^1/_{26}$ des Kreises (d. i. um einen Buchstaben) gedreht wird. Bei jeder halben Umdrehung des Eisenkerns erfolgt eine Umkehrung seines Magnetismus und hierdurch werden in seiner Drahtwindung kurze aber sehr kräftige Inductionsströme erregt, welche abwechselnd in entgegengesetzter Richtung erfolgen. Diese inducirten Ströme sind es, welche als bewegende Kraft zur Umdrehung der Zeiger sämmtlicher eingeschalteten Apparate benutzt werden.

(Fig. 246.)



Der sehr einfache Mechanismus, durch welchen dies geschieht, wird durch Fig. 246 verständlich werden. M ist ein Electromagnet, dessen Eisenkern c in seiner Drahtspule drehbar ist. An jedem Ende trägt derselbe eine nach unten gerichtete Verlängerung c o von weichem Eisen. Diese Polverlängerung ist so zwischen die entgegengesetzten Pole N und S zweier hufeisenförmigen Stahlmagnete gestellt, daß sie von beiden mit gleicher Kraft angezogen werden, so lange sie unmagnetisch sind. Durchläuft aber ein electrischer Strom die Windungen des Electromagneten, so wird das Gleichgewicht gestört, und der Eisenkern dreht sich je nach der Richtung des Stromes, indem seine Polverlängerungen von den gleichnamigen Polen der Stahlmagnete abgestoßen und von den entgegengesetzten Polen angezogen werden. Die Oscillationen des Eisenkernes werden durch den gabelförmig gespaltenen Arm D, dessen Bewegungen durch Stellschrauben h und h' regulirt sind, mittelst der federnden Häkchen e und e' auf das kleine, mit 13 Zähnen versehene Rädchen s übertragen,

welches bei jedem Stoße um einen halben Zahn, d. i. um $^1/_{26}$ des Kreises, weiter gedreht wird. Die Axe dieses Rädchens trägt den Zeiger D (Fig. 245). Da die Zifferblätter A und B der Stromgeber und Zeichengeber mit den Buchstaben des Alphabets in gleicher Zahl und Reihenfolge beschrieben sind, so folgen die Zeiger sämmtlicher eingeschalteten Apparate den Umdrehungen der Kurbel C.

Zugleich ist der oscillirende Magnet mit einem Hammer versehen, welcher an zwei am Kasten befindliche Glocken schlägt, wenn der Wecker durch Eindrücken des Knopfes F eingeschaltet ist. Der Knopf E dient zur Regulirung, wenn die Stellung des Zeigers D mit der der Kurbel C nicht übereinstimmt. Beim Niederdrücken desselben wird der Zeiger D festgehalten, und die Kurbel kann bis auf das entsprechende Feld gedreht werden.

Dieser Apparat hat vor allen übrigen Zeigertelegraphen unbestreitbare Vorzüge: er ist leicht mit Sicherheit zu bedienen; er bedarf keiner Batterieen, indem der Strom durch den Apparat selbst erzeugt wird; er spricht schneller, als jeder andere Zeigertelegraph, indem die Kurbel mit beliebiger Geschwindigkeit gedreht werden kann, ohne daß die Zeiger zurückbleiben.

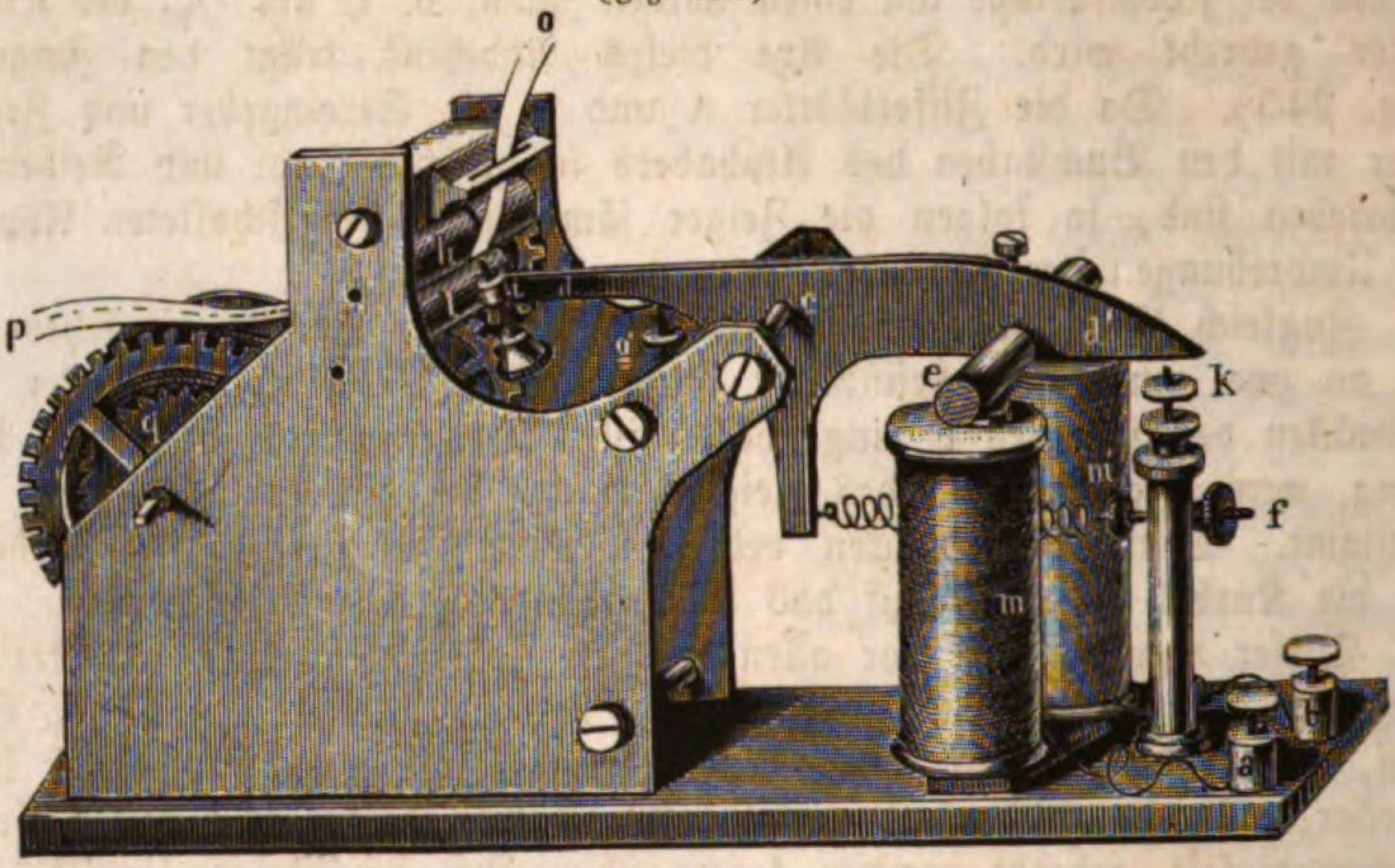
3. Die Drucktelegraphen.

Diese haben vor allen übrigen Telegraphen den großen Vorzug, daß sie auf Papier sichtbare Zeichen hinterlassen. Hierdurch sind die gegebenen Signale unabhängig von der größeren oder geringeren Aufmerksamkeit des Empfängers, welche namentlich bei den Nadeltelegraphen nicht gering sein muß, um die in rascher Aufeinanderfolge gegebenen Signale richtig aufzufassen. Kommt bei diesen oder den Zeigertelegraphen ein Fehler vor, so ist hinterdrein nicht mehr nachzukommen, ob das Zeichen falsch signalisirt oder falsch abgelesen worden ist; die Drucktelegraphen aber hinterlassen ein Document, auf welches in streitigen Fällen Recurs genommen und durch welches somit das Beamtenpersonal aufs Genaueste controlirt werden kann. Es leuchtet ein, wie wichtig dieser Umstand besonders bei der Beförderung von Börsennachrichten und anderen Handelscorrespondenzen ist, wo eine einzige falsch gegebene oder falsch abgelesene Zahl die größten Verluste herbeiführen kann; dies ist es hauptsächlich, was den Drucktelegraphen ein bedeutendes Uebergewicht über die anderen Systeme sichert.

Unter den Drucktelegraphen hat sich besonders der von dem Amerikaner Morse (1837) erfundene und durch verschiedene deutsche Erfinder (Siemens und Halske, Stöhrer, Nottebohm, Steinheil ꝛc.) vervollkommnete Apparat sowohl durch die Einfachheit seiner Construction, als durch die Bequemlichkeit der Handhabung und die Schnelligkeit der Zeichengebung so sehr empfohlen, daß derselbe auf den meisten Telegraphenlinien Deutschlands, Oesterreichs, Frankreichs, Italiens ꝛc. eingeführt worden ist. Seine Construction ist aus Fig. 247 ersichtlich.

Die Drahtumwindung des Electromagneten mm′ ist durch die Klemmschrauben a und b in die Stromleitung eingeschaltet; über den Polen dieses Electromagneten befindet sich der Anker e, ein Stäbchen aus weichem Eisen, welches an dem um die Achse c drehbaren Hebel dd′ befestigt ist. Beim Schließen des Stromes wird der Anker angezogen; hierdurch geht der linke Schenkel d des Hebels nach oben, und der Stahlstift i wird gegen den Papierstreifen op angepreßt. Beim Aufhören des Stromes und des Magnetismus wird der Anker e von den Polen des Electromagneten nnd der Stift

(Fig. 247.)



i von dem Papierstreifen durch die Feder f abgerissen. Beide Bewegungen werden durch die Schrauben k und g regulirt. Die Schraube k verhindert die unmittelbare Berührung des Ankers und der Pole, die Schraube g eine allzuweite Entfernung beider. q ist die Trommel eines gewöhnlichen Uhrwerks (s. g. Laufwerks), das durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt wird und seine Bewegung durch Vermittelung eines Räderwerks auf die Walze l überträgt, welche dadurch in eine langsame, gleichmäßige Umdrehung versetzt wird. Gegen diese Walze wird eine zweite Walze h mittelst Federkraft so angedrückt, daß sie durch Friction sich in entgegengesetzter Richtung mitdreht; dieselbe hat in der Mitte ringsum eine rinnenförmige Vertiefung, in welche die Stahlspitze i gerade paßt. Durch die Umdrehung der beiden Walzen wird der dazwischen eingeklemmte Papierstreif op dicht über dem Stifte i vorbei geführt. So oft demnach der galvanische Strom auf kurze Zeit geschlossen wird, so oft drückt sich dieser Stift in das Papier und hinterläßt einen Punkt; bei länger anhaltendem Schlusse entsteht eine Linie. Aus diesen beiden Elementarzeichen ist das ganze Alphabet zusammengesetzt. In Deutschland ist folgendes Alphabet eingeführt:

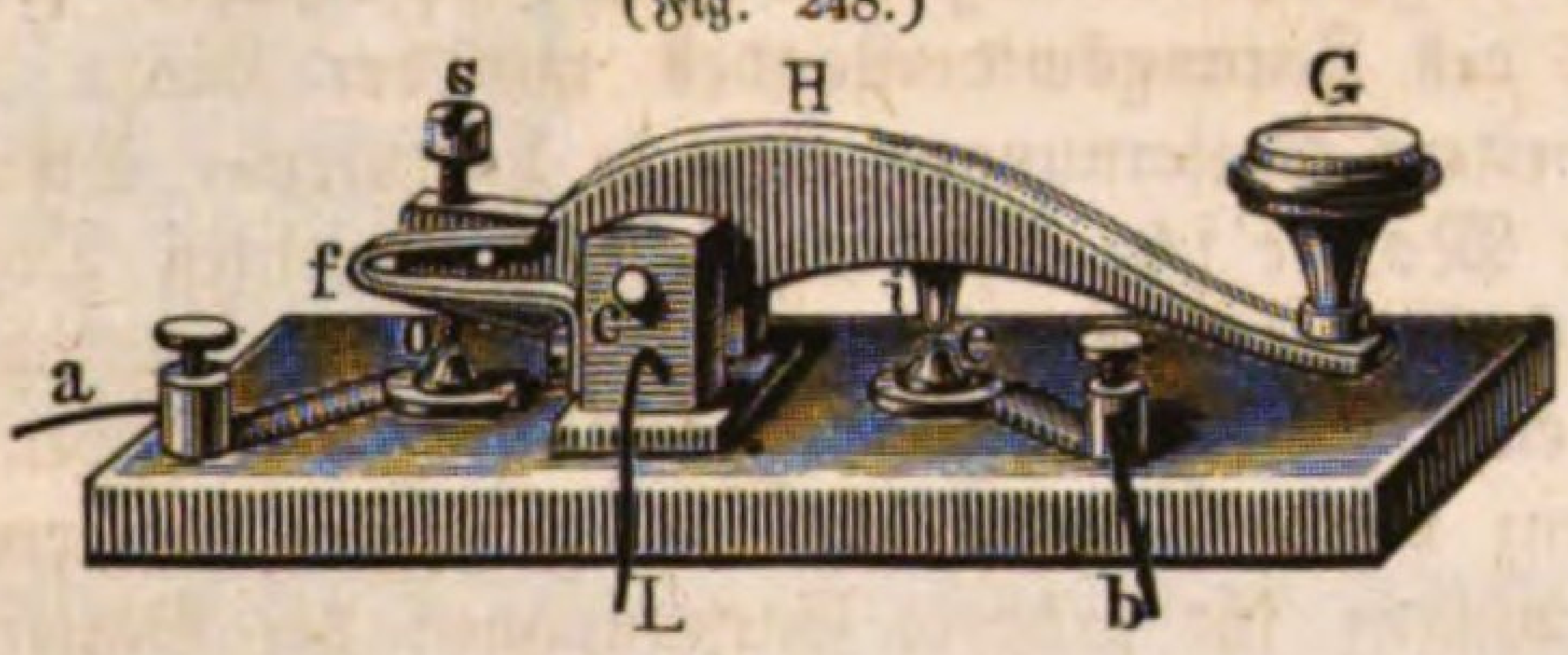
a	.—	n	—.	1	.————
ä	.—.—	o	———	2	..———
b	—...	ö	———.	3	...——
c	—.—.	p	.——.	4	....—
d	—..	q	——.—	5	.....
e	.	r	.—.	6	—....
f	..—.	s	...	7	——...
g	——.	t	—	8	———..
h	....	u	..—	9	————.
ch	————	ü	..——	0	—————
i	..	v	...—	.	......
j	.———	w	.——	,	.—.—.—
k	—.—	x	—..—	;	—.—.—.
l	.—..	y	—.——	:	———...
m	——	z	——..	?	..——..
				!	——..——

Nach jedem Buchstaben wird ein kleinerer, nach jedem Worte ein etwas größerer Zwischenraum gelassen; der Anfang einer Depesche wird durch eine Reihe von Punkten bezeichnet. Z. B.:

.... —.. .— ... .——. .— .—. .—.. .— —— . —. —
d a s p a r l a m e n t
... ——— .—.. .—.. .— ..— ..—. ——. . .—.. ———. ... —
s o l l a u f g e l ö s t
.—— . .—. —.. . —. ......
w e r d e n .

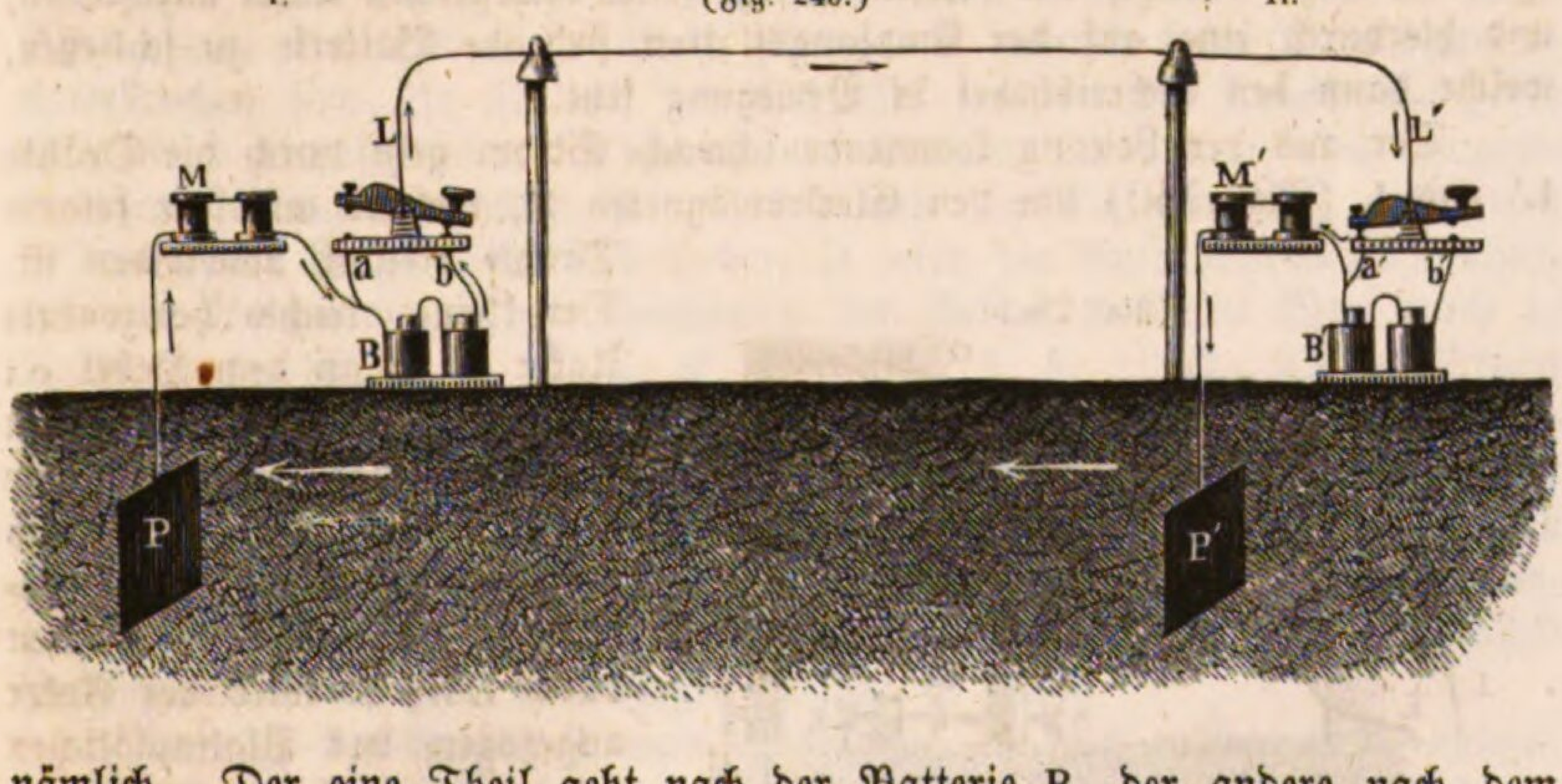
Ein geübter Telegraphist vermag in einer Minute 80 bis 100 Zeichen zu geben, während die vollkommensten Zeigertelegraphen kaum 40 bis 50 Buchstaben in derselben Zeit zu entwickeln vermögen. Zum Zeichengeben ist ein besonderer Schlüssel erforderlich, dessen Einrichtung Fig. 248 zeigt.

(Fig. 248.)



Der Messinghebel H ist in einem metallenen Lager um die Achse c drehbar, steht also mit dem Drahte L stets in leitender Verbindung. In der (abgebildeten) Ruhestellung wird der linke Hebelarm mittelst der Feder f niedergedrückt, hiedurch die Schraube s auf das Metallknöpfchen o gepreßt, welches mit der Klemmschraube a in leitender Verbindung steht, und somit die Verbindung der beiden Leitungsdrähte L und a vermittelt. Drückt der Telegraphist den Griff G nieder, so wird diese Verbindung bei o unterbrochen, dagegen durch das Aufschlagen des Stiftes i auf den s. g. Ambos das Metallknöpfchen e, welches mit der Klemme b leitend verbunden ist, die Leitungsdrähte L und b in Verbindung gesetzt. Im ersteren Falle ist die Batterie geöffnet, im letzteren geschlossen, wie sich aus der schematischen Fig. 249 ergiebt. Der Draht a theilt sich

I. (Fig. 249.) II.



nämlich. Der eine Theil geht nach der Batterie B, der andere nach dem Electromagneten M des Schreibapparates. Das Zapfenlager des Schlüssels steht mit dem Liniendrahte L, der Draht b mit den anderen Pole der Batterie in Verbindung. Stehen beide Schlüssel der verbundenen Stationen in

der Ruhestellung, so kann kein Strom entstehen, da die von dem einen Pole der Batterie kommende Leitung bei b unterbrochen ist. Wird dagegen auf Station I. der Schlüssel niedergedrückt, so ist die Batterie B geschlossen und der Strom geht in der Richtung der beigezeichneten Pfeile: B b L L′ a′ M′ P′ P M B. Daher kommen auf beiden Stationen die Electromagneten M und M′ gleichmäßig in Thätigkeit.

Ein besonderer Weckerapparat ist bei diesen Telegraphen nicht nöthig; das Aufschlagen des Schreibstiftes bringt ein solches Geräusch hervor, daß dasselbe zur Erweckung der Aufmerksamkeit auf der entfernten Station ausreicht. Will der Telegraphist eine Depesche geben, so ruft er die betreffende Station durch wiederholtes Anschlagen des Schreibstiftes; der gerufene Telegraphist antwortet: „Ich bin bereit“ und läßt das Uhrwerk seines Apparates los, und nun beginnt die Correspondenz.

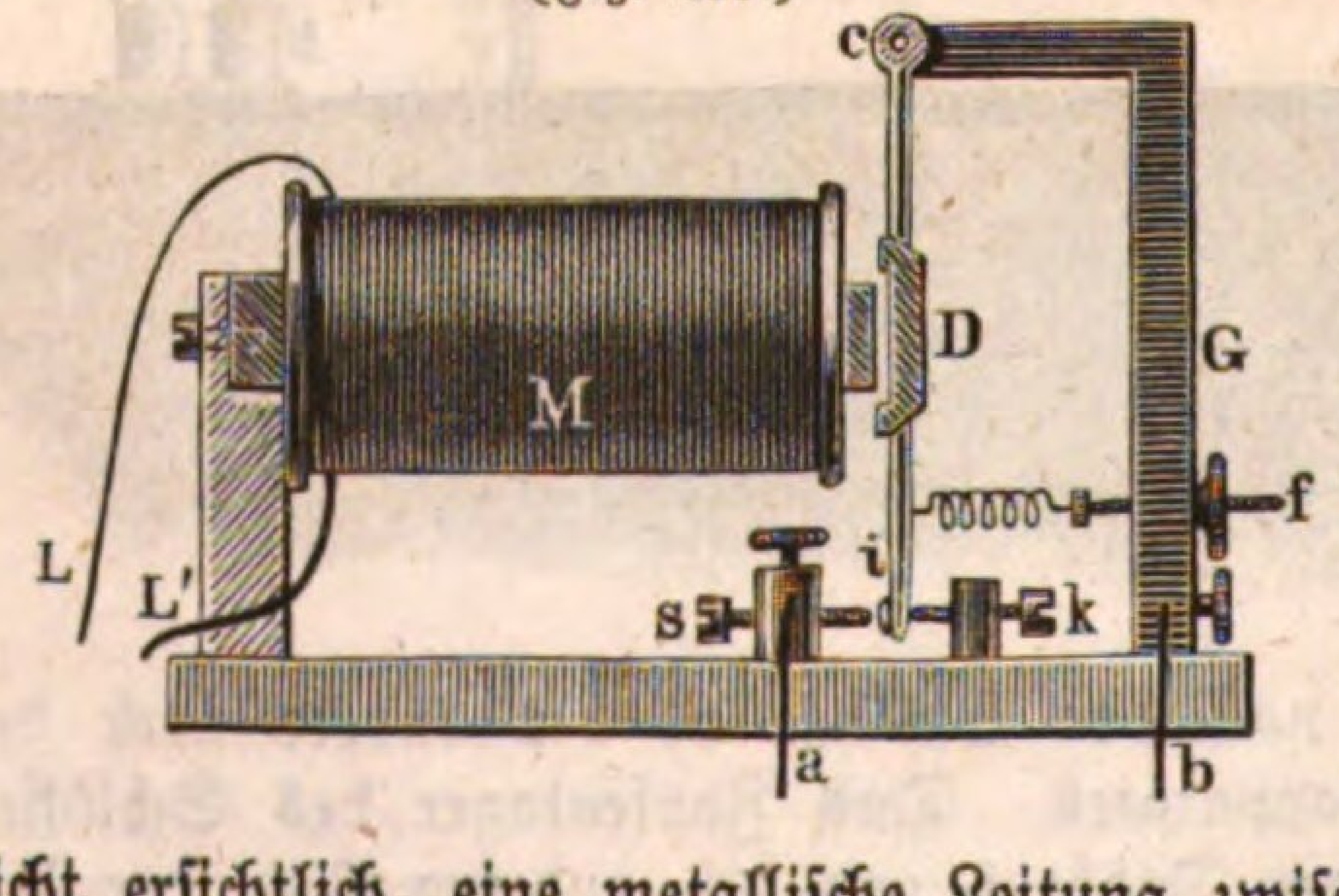
Wir haben oben (S. 358) bereits darauf aufmerksam gemacht, daß eine absolute Isolirung der Telegraphenleitung unmöglich ist; daraus, sowie besonders aus der Zunahme des Leitungswiderstandes mit der Länge des Drahtes, ergiebt sich für weitere Entfernungen eine so bedeutende Schwächung des Stromes, daß der Morse'sche Apparat sehr bald seinen Dienst versagen würde. Denn es ist klar, daß zur Hervorbringung einer deutlichen, scharf ausgeprägten Schrift eine kräftige Anziehung des Ankers nothwendig ist. Eine directe Correspondenz würde demnach nur auf geringere Entfernungen möglich sein, oder es müßten für größere Entfernungen die Batterien unverhältnißmäßig verstärkt werden.

Relais. Diesem Uebelstande ist auf eine ausgezeichnete Weise durch den von Wheatstone erfundenen Uebertrager (das Relais) abgeholfen, eine Vorrichtung, welche es möglich macht, mit einem verhältnißmäßig schwachen Strome auf sehr große Entfernungen direct zu telegraphiren, und durch welche die Telegraphie sehr bedeutend gefördert worden ist.

Der Grundgedanke des Relais, welches eine sehr verschiedene Construction haben kann, ist der, daß der von der entfernten Station kommende schwache Strom nicht direct auf den Schreibapparat wirkt, sondern daß man ihn bloß dazu benutzt, einen kleinen, sehr leicht beweglichen Anker anzuziehen, und hierdurch eine auf der Empfangsstation stehende Batterie zu schließen, welche dann den Schreibhebel in Bewegung setzt.

Der aus der Leitung kommende schwache Strom geht durch die Drähte L′ und L (Fig. 250) um den Electromagneten M, welcher mit sehr feinem Drahte vielfach umwunden ist. Der kleine, leichte horizontale Anker D ist an dem Hebel c i befestigt, welcher in c seinen Drehpunkt hat. Im Zustande der Ruhe ist dieser Hebel durch das schwache Federchen f gehalten; geht aber ein Strom durch L L′, so wird der Anker angezogen, das Platinplättchen i berührt die Contactschraube s und stellt, wie aus der Figur

(Fig. 250.)

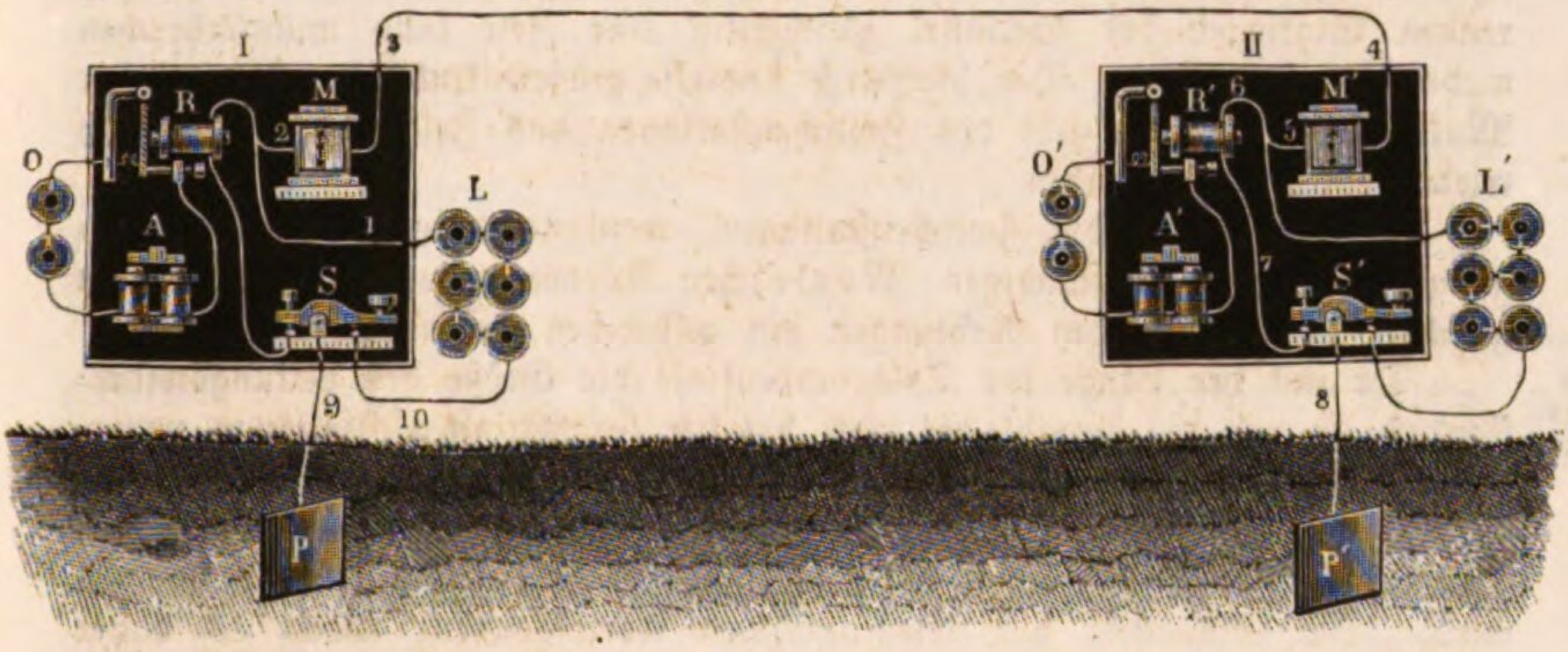


leicht ersichtlich, eine metallische Leitung zwischen den Drähten a und b her; durch diese wird der Strom der Localbatterie geschlossen, und der Schreib-

stift kräftig gegen das Papier geschnellt. Durch die Schrauben k und s kann die Bewegung des Hebels c i so regulirt werden, daß sich i und s kaum um die Dicke feinen Postpapiers von einander entfernen. Dies reicht vollkommen hin, um den Strom zu unterbrechen. Die Localbatterie darf schwach sein, da ihr Strom wegen der kurzen Leitung einen sehr kleinen Widerstand zu überwinden hat.

Das Relais wird so eingeschaltet, daß der von der entfernten Leitungsbatterie erregte Strom hindurchgeht; daß es jedoch von dem Strome der eigenen Linienbatterie nicht afficirt wird. Zu diesem Zwecke hat der Apparatentisch einer Telegraphenstation die in Fig. 251 schematisch dargestellte

(Fig. 251.)



Einrichtung. A ist der Schreibapparat, O die mit demselben verbundene Ortsbatterie, R das Relais, durch welches dieselbe geschlossen und also der Apparat in Thätigkeit gesetzt wird. S ist der Schlüssel, L die Linienbatterie und M ein auf jeder Station befindlicher Multiplicator mit aufrecht hängender Nadel, an deren Ausschlägen der Telegraphist das Vorhandensein eines durch den Leitungsdraht gehenden Stromes erkennen kann. Wenn beide Schlüssel in der Ruhestellung und dadurch beide Linienbatterien unterbrochen sind, so ist doch der Schlüssel sammt dem Relais auf jeder Station so eingeschaltet, daß von einer Station zur andern eine ununterbrochene Leitung vorhanden ist. Drückt nun der Telegraphist der Station I. den Hebel seines Schlüssels nieder, so wird die Linienbatterie geschlossen, und der Strom nimmt mit Umgehung des Relais R seinen Weg durch 1, 2, M, 3, 4, M', 5, 6, R', 7, S', 8, P', P, 9, S, 10, L. Da der Strom sonach um den Electromagneten R' kreist, so wird auf Station II. der Relais-Anker angezogen, die dortige Ortsbatterie O' geschlossen und somit der Apparat A' in Gang gesetzt. Durch das Niederdrücken des Schlüssels wird also die Linienbatterie der signalisirenden, und die Ortsbatterie der empfangenden Station geschlossen; das Relais, und folglich auch der Schreibstift der signalisirenden Station dagegen bleiben in Ruhe.

Vermöge des Relais ist man im Stande, in weit größere Entfernungen direct zu correspondiren, da zur Bewegung des leichten Relais-Ankers ein schwacher Strom genügt. Die Apparate der Zwischenstationen werden dabei meistens ausgeschaltet, da die große Länge des um die Electromagneten der Relais gewundenen feinen Drahts den Leitungswiderstand unnütz ver-

mehren würde. Hierzu und um das Relais einer Zwischenstation sowohl nach der einen, als nach der anderen Seite hin mit dem Leitungsdrahte in Verbindung zu setzen, dient der sogenannte **Umschalter**, welcher sich auf dem Apparattische jeder Zwischenstation befindet. Von ihm führen Drähte nach der Orts- und Linienbatterie, nach den Leitungsdrähten, nach dem Relais, dem Schlüssel, den Erdplatten und dem Blitzableiter. Durch eine einfache Manipulation können zwischen diesen Drähten alle nothwendigen Verbindungen mit Leichtigkeit hergestellt und unterbrochen werden. An den Zuckungen der Multiplicator-Nadel, welche während der Ausschaltung beobachtet werden muß, kann der Telegraphist bemerken, wie lange die durchgehende Correspondenz dauert; die Beendigung derselben wird allen ausgeschalteten Zwischenstationen dadurch angezeigt, daß auf **beiden** correspondirenden Stationen die Schlüssel gleichzeitig eine Zeit lang ununterbrochen niedergedrückt werden. Der hierdurch bewirkte größere Ausschlag sämmtlicher Multiplicator-Nadeln gibt den Zwischenstationen das Zeichen, daß sie sich wieder einzuschalten haben.

Umschalter.

Uebrigens sind die Zwischenstationen, wenigstens in Preußen, durchgängig mit **zwei** vollständigen **Morse**'schen Apparaten versehen, damit zu gleicher Zeit nach beiden Richtungen hin gesprochen werden kann.

Uebertragungsstationen.

Da mit der Länge der Telegraphenlinie die Größe des Leitungswiderstandes, so wie die Anzahl der auch bei der sorgfältigsten Isolirung unvermeidlichen Nebenschließungen zunimmt, so muß nothwendig, wenn die Länge der Leitung ein gewisses Maaß überschreitet, eine solche Schwächung des Stromes eintreten, daß selbst der leichte Relais-Anker nicht mehr angezogen wird. Die Sicherheit der telegraphischen Correspondenz macht es daher nothwendig, daß eine gewisse Meilenzahl für die directe Correspondenz nicht überschritten werde. Dieses Maximum ist in Preußen auf 50 Meilen bestimmt; längere Linien werden in eine entsprechende Anzahl Unterabtheilungen zerlegt, deren jede eine in sich geschlossene Linie bildet. So zerfällt z. B. die Linie Berlin-Paris in die 6 Partialketten: Berlin-Erfurt, Erfurt-Frankfurt a. M., Frankfurt-Coblenz, Coblenz-Saarbrücken, Saarbrücken-Nancy, Nancy-Paris. Die Stationen Erfurt, Frankfurt a. M., Coblenz, Saarbrücken und Nancy, welche zwei Partialketten verbinden, heißen Uebertragungsstationen. Das Weitertelegraphiren einer ankommenden Depesche auf die folgende Linie wird durch den Schreibhebel selbst bewirkt, indem die Bewegung desselben dazu benutzt wird, die Linienbatterie zu schließen und mittelst des dadurch erzeugten Stromes das empfangene Signal sofort bis zur folgenden Uebertragungsstation weiter zu geben. Will also Berlin mit Paris correspondiren, so wird durch das in Berlin erfolgende Niederdrücken des Schlüssels die Berliner Linienbatterie der Partialkette Berlin-Erfurt geschlossen und hierdurch der Relaisanker in Erfurt angezogen; dieser schließt die Erfurter Ortsbatterie und setzt dadurch den Schreibhebel in Bewegung. Indem letzterer die Schrift auf den Papierstreifen verzeichnet, schließt er zugleich bei jedem Anziehen die Linienbatterie der Partialkette Erfurt-Frankfurt und setzt dadurch das Relais in Frankfurt a. M. in Bewegung, welches wiederum die dortige Ortsbatterie schließt u. s. w. Jede Uebertragungsstation bekommt somit eine Abschrift der Depesche. Will sie diese nicht nehmen, so können die Drähte so umgeschaltet werden, daß das Relais nicht die Ortsbatterie, sondern direct die Linienbatterie der folgenden Partialkette schließt.

Bei mehrfacher Uebertragung werden übrigens die Signale nicht so rasch fortgepflanzt, wie bei directer Correspondenz innerhalb derselben Partialkette. Der Schluß der Erfurter Ortsbatterie, um bei unserm Beispiel stehen zu bleiben, erfolgt erst, wenn der dortige Relaisanker einen kleinen Weg zurückgelegt hat, und die Erfurt-Frankfurter Linienbatterie wird gleichfalls erst dann geschlossen, wenn der Erfurter Schreibhebel seine Bewegung vollendet hat. Ebenso muß in Frankfurt erst der Relaishebel in Bewegung gesetzt werden, und erst am Schlusse dieser Bewegung wird die Frankfurter Ortsbatterie geschlossen. Setzen wir diese Betrachtung fort, so finden wir, daß das von Berlin gegebene Signal in Paris erst aufgeschrieben wird, nachdem 12 Hebel, nämlich 6 Relaishebel und 6 Schreibhebel, in Bewegung gesetzt sind, und zwar so, daß jeder vorhergehende Hebel seinen Weg zurückgelegt haben muß, ehe der folgende seinen Weg beginnt. Nun sind zwar diese Bewegungen in sehr enge Grenzen eingeschlossen, allein die Verzögerung ist doch so merklich, daß in solchen Fällen die Zeichen etwas langsamer gegeben werden müssen, als bei directer Correspondenz innerhalb derselben Partialkette. Durch Ausschaltung sämmtlicher Ortsbatterieen und Schreibapparate wird die Verzögerung auf die Hälfte reducirt.

Siemens' und Halske's Inductions-Relais.

Neuerdings ist von Siemens und Halske ein Inductions-Relais construirt worden, welches aus einem in seiner Spirale drehbaren Electromagneten mit Polverlängerungen zwischen Stahlmagneten besteht, ganz wie beim Inductions-Zeigertelegraphen. Es werden hier zum Telegraphiren die Inductionsströme benutzt, welche in einem um den Electromagneten des s. g. Inductors gewundenen langen und dünnen Kupferdraht beim Magnetisiren und Entmagnetisiren erregt werden. Dadurch wird die Linienbatterie ganz überflüssig; die durch eine kleine Localbatterie indirect erregten Inductionsströme sind so kräftig, daß man mit denselben auf weit größere Strecken direct sprechen kann, als mit den bisherigen Mitteln, zumal da der Magnetismus des Relais hier keine Federkraft zu überwinden hat. — Ein specielleres Eingehen auf diese sowohl in theoretischer als praktischer Hinsicht sehr interessanten Apparate würde jedoch über die uns gesteckten Grenzen hinausführen.

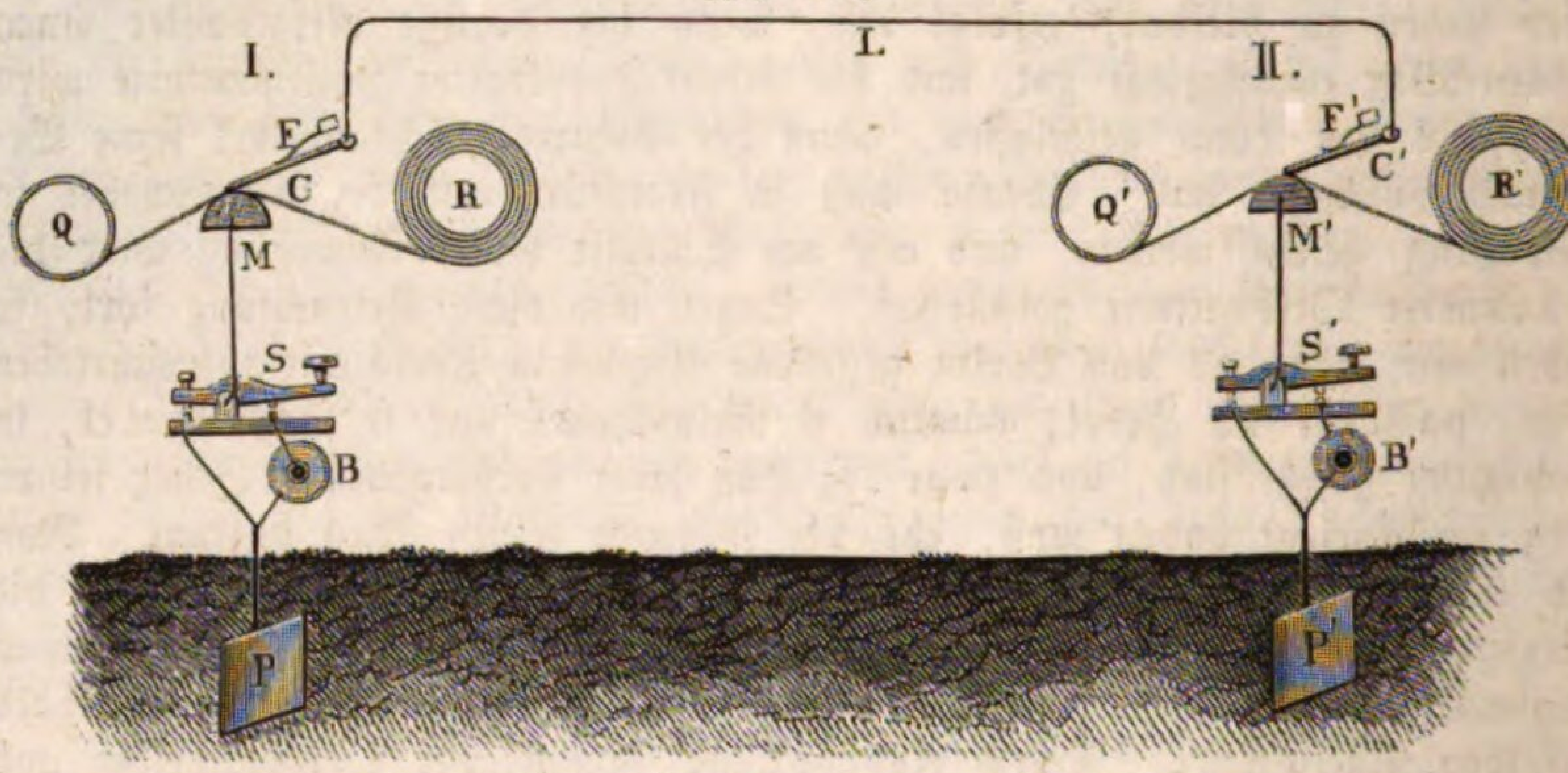
Chemische Drucktelegraphen.

Zu den Drucktelegraphen sind auch die zuerst von Bain (1847) eingeführten und von Stöhrer, Siemens und Halske, besonders von Gintl vervollkommneten s. g. electrochemischen Telegraphen zu rechnen. Sie gründen sich auf die Eigenschaft des galvanischen Stromes, chemische Verbindungen zu zersetzen. Läßt man den Strom durch ein angefeuchtetes (und dadurch leitend gemachtes) Papier hindurchgehen, welches mit einer leicht zersetzbaren Substanz imprägnirt ist, so erfolgt während des Durchganges des Stromes die chemische Zersetzung. Scheidet sich durch diese ein stark gefärbter Stoff aus, so kann hierdurch auf einen vorbeigeführten Papierstreifen eine Reihe von Strichen und Punkten verzeichnet werden, welche nicht vertieft, wie beim Morse'schen Apparat, sondern gefärbt auf weißem Grunde erscheinen. Zum Imprägniren des Papiers für diesen Zweck sind verschiedene Substanzen vorgeschlagen. Durch folgende billige Mischung erhält man scharf ausgeprägte dunkelblaue Schrift auf weißem Grunde: Wasser 100 Theile, salpetersaures Ammoniak 150 Theile, gelbes Blutlaugensalz 5 Theile. — Das salpetersaure Ammoniak zieht Wasser an und erhält fortwährend das Papier feucht genug.

Der chemische Telegraph ist weit einfacher als der Morse'sche: er enthält keinen Electromagneten und bedarf keines Relais; seine Tragweite ist,

wie 1853 durch vergleichende Versuche nachgewiesen wurde, noch etwas größer, als beim Morse'schen. Fig. 252 gibt das Schema zweier in Verbindung

(Fig. 252.)



gesetzten Stationen. B bezeichnet die Batterie, S einen Schlüssel, ganz wie beim Morse'schen Apparate construirt, M einen mit der Axe des Schlüssels in leitender Verbindung stehenden metallenen Halbcylinder, über welchen der feuchte Papierstreif durch gleichmäßige Umdrehung der Rolle Q hinweggezogen wird, indem er sich von der Rolle R abwickelt, C einen durch die Feder F leicht auf das Papier gedrückten Metallstift, L den Leitungsdraht. Drückt einer der Telegraphisten seinen Schlüssel nieder, so wird seine Batterie geschlossen, der Strom geht durch die Metallplatte M und den Schreibstift C und passirt das dazwischen durchgleitende Papier. Hier bewirkt derselbe eine Zersetzung und zeichnet also auf das Papier eine blaugefärbte Schrift, wenn das Papier mit jener Mischung imprägnirt ist.

Da der Schreibstift kein Geräusch verursacht, so ist hier ein Wecker erforderlich; zugleich kann beim Anfang der Depesche von der entfernten Station her das Laufwerk, welches die Rolle Q zu drehen hat, durch einen Electromagneten ausgelöst werden — Vorrichtungen, welche hie und da auch bei Morse'schen Apparaten angebracht sind.

Der chemische Telegraph ist großer Vervollkommnung fähig und hat wahrscheinlich eine bedeutende Zukunft. Schon 1847 schlug Bain vor, sich zum Signalisiren statt des Schlüssels durchlöcherter Papierstreifen zu bedienen. Wird nämlich der Schlüssel S (Fig. 252) niedergedrückt, aber statt des feuchten Papierstreifens ein trockener (nicht leitender) über M' hinweggezogen, so ist der Strom durch dieses Papier unterbrochen. Ist aber das Papier an gewissen Stellen durchlöchert, so wird bei jedem Loch der Schreibstift C' das hier entblößte Metall berühren und den Strom schließen. Die aus Punkten und Strichen bestehende Durchlöcherung wird also auf der entfernten Station eine genaue farbige Copie erzeugen.

Dieser Vorschlag hat im Ganzen wenig Beachtung gefunden, da sich das Interesse der Techniker hauptsächlich dem Morse'schen Apparate zuwandte. Allein die Vortheile dieser Methode sind in die Augen fallend. Mitunter drängen sich die Depeschen auf den Telegraphenstationen so bedeutend, daß die Beförderung von Privatdepeschen stundenlang, ja wohl Tage lang hinausgeschoben werden muß, wenn gerade Staatsdepeschen zu befördern sind.

Man hilft sich, wo solche Mißstände zu stark hervortreten, durch Vermehrung der Drahtleitungen und Aufstellung neuer Apparate, da der Morse'sche Apparat ein gewisses Maaß der Schnelligkeit nicht zu überschreiten vermag. Allein hierzu gehört auch die Anstellung neuer Beamten, und wenn sich, wie zu erwarten steht, der telegraphische Verkehr wie bisher auszubreiten fortfährt, so wird sich der Morse'sche Telegraph als unzureichend erweisen. Der chemische Telegraph kann von solchem durchlöcherten Papierstreifen 20mal so schnell signalisiren, als der geübteste Telegraphist mittelst des Schlüssels. Das Einschlagen der Löcher geschieht mit einer Maschine, ganz ähnlich der, mit welcher die Karten für den Jacquard'schen Webestuhl geschlagen werden, und erfordert nicht mehr Zeit, als das Signalisiren mittelst des Morse'schen Schlüssels. Häufen sich also die Depeschen, so können 10, 20 Mann mit dem Einschlagen der Löcher beschäftigt werden, und ein einziger Arbeiter, der noch nicht einmal braucht lesen zu können, ist im Stande, die Depeschen auf einem einzigen Apparate durch einen einzigen Leitungsdraht zu befördern. Vor einigen Jahren hat Neubronner auf die großen Vortheile dieser Methode in beachtenswerther Weise aufmerksam gemacht. Nach seinem Vorschlage kann das Telegraphenbureau das Papierband nach der Elle an Private verkaufen, und das Durchlöchern anderen Kräften, selbst den Privaten überlassen, da für das Telegraphiren füglich eine Person hinreicht. Selbst das Uebersetzen kann auf solche Weise erspart werden: der Absender erhält sein Manuscript, das durchlöcherte Papier, zurück, und der Empfänger erhält eine genaue electrochemische Copie. Fehler können dabei gar nicht vorkommen, wie beim Arbeiten mit dem Schlüssel; das Telegraphenamt ist also aller Verantwortung überhoben.

Außer der größeren Einfachheit des Apparates, der größeren Tragweite desselben im Vergleich zum Morse'schen, der größeren Schnelligkeit der Depeschenbeförderung, welche durch die durchlöcherten Streifen möglich und wodurch ein enormes Anlagekapital erspart wird, bietet die vorgeschlagene Methode noch den gar nicht hoch genug anzuschlagenden Vortheil, daß auf die allersicherste Weise geheime Depeschen befördert werden können. Gegenüber dem Briefgeheimniß ist die bisherige Art der telegraphischen Beförderung eine Abnormität, und wir sind überzeugt, daß der telegraphische Verkehr bei weitem lebhafter sein würde, wäre man nicht genöthigt, die Depeschen offen aufzugeben und von den Beamten in eine andere Schrift übersetzen zu lassen. Der electrochemische Telegraph ist fähig, diesen abnormen Zustand aufzuheben, die Papierstreifen können in verschlossenen Kästchen aufgegeben und abgeholt werden, das Beamtenpersonal braucht dieselben nicht zu lesen. Geheime Alphabete u. s. w. können beliebig verabredet werden. Um Mißbrauch zu verhüten, würde das Telegraphenpapier nur an zuverlässige Personen ausgegeben; doch glauben wir kaum, daß damit mehr Mißbrauch vorkommen würde, als mit dem Postpapier oder gar mit dem Druckpapier.

Die höchste Stufe der Vollendung würde die Telegraphie erst dann erreichen, wenn es möglich wäre, die Originalschrift der Depesche, also jede Namensunterschrift, Geheimschrift ꝛc. zu befördern. In dieser Richtung sind seit mehreren Jahren nicht ohne Erfolg Versuche angestellt worden. Am besten dürfte bis jetzt Bonelli die Aufgabe gelöst haben. Sein Telegraphendraht besteht aus 50 bis 60 sehr feinen Kupferdrähten, welche aufs sorgfältigste gegen einander isolirt und zu einem Seile zusammengedreht sind, das die Dicke eines starken Bleistifts hat. Die Enden dieser Drähte sind

Bonelli's electrochemischer Schreibtelegraph.

auf beiden Stationen in gleicher Reihenfolge nebeneinander auf einer Holzleiste befestigt und in gleicher Länge abgeschnitten, so daß sie einen sehr engen metallischen Kamm bilden. Die Depesche wird mit einem schnell trocknenden Harzfirniß oder einer anderen nicht leitenden Substanz auf ein Band von Zinnfolie oder Goldpapier geschrieben, welches wie beim Morse'schen Telegraphen vermittelst eines Uhrwerks unter dem Kamm der Abgangsstation durchgezogen wird, während unter dem Kamm der Empfangsstation ein mit einer chemisch zersetzbaren Lösung imprägnirtes feuchtes Papier mit genau gleicher Geschwindigkeit durchgeht. Hier bewirkt der Strom die chemische Zersetzung, also die Färbung des Papiers an allen denjenigen Stellen, wo das andere Ende desselben Drahtes auf Metall schleift; wo dagegen der Strom durch die Schrift der Depesche unterbrochen ist, da bleibt die entsprechende Stelle des empfindlichen Papierbandes weiß. Somit erscheint auf diesem die getreue Copie der Originalschrift weiß auf dunkelblau schraffirtem Grunde.

Es ist klar, daß dieses System, so einfach es auf den ersten Blick erscheint, doch nur eine sehr beschränkte Anwendung zuläßt; die Anfertigung solcher Telegraphenseile würde gar zu enorme Kapitalien erfordern.

Das Gegensprechen und Doppeltsprechen.

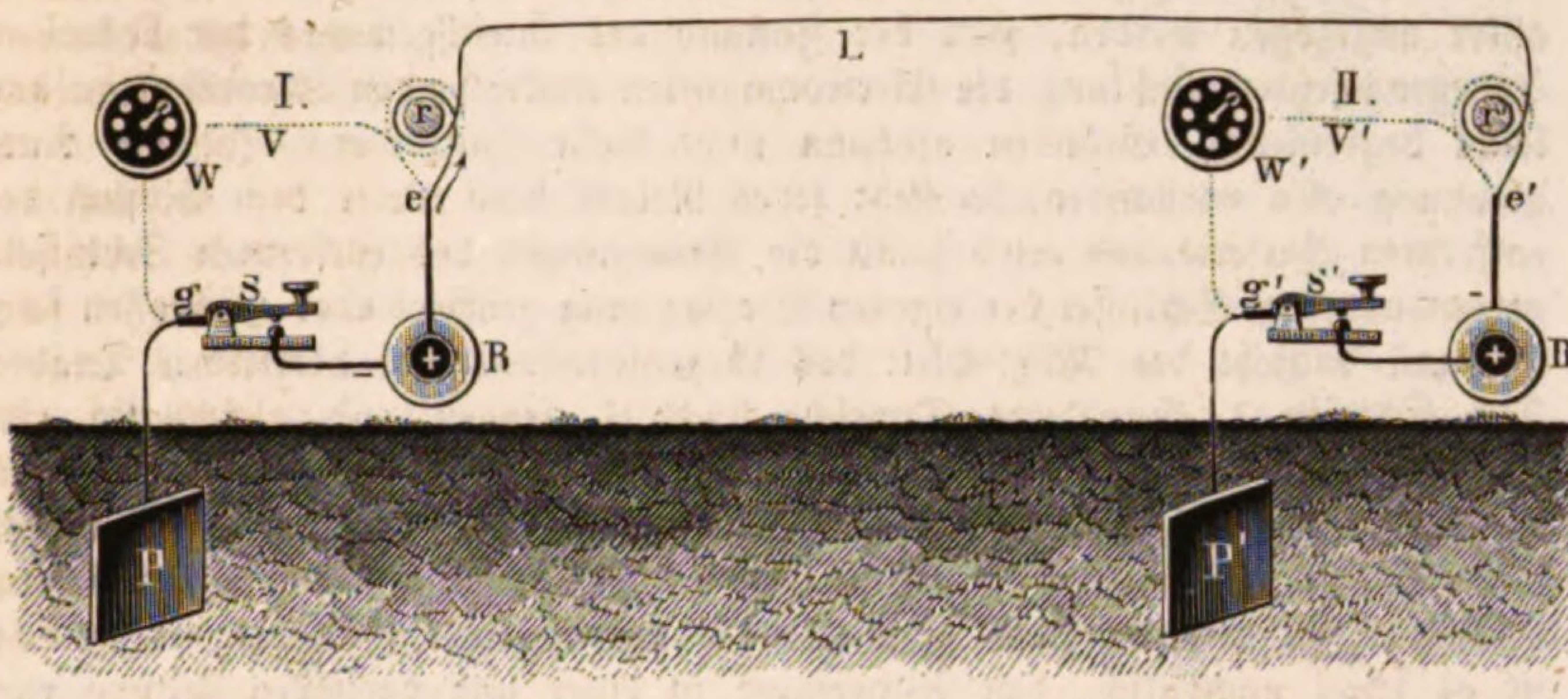
Gegensprechen.

Ein anderes Problem, auf dessen Lösung in den letzten Jahren großer Scharfsinn verwandt worden ist, das aber eine vollkommen genügende Lösung gleichfalls noch nicht gefunden hat, ist das sogen. Gegensprechen, d. h. die gleichzeitige Beförderung zweier Depeschen durch denselben Leitungsdraht in entgegengesetzter Richtung.

Beim Morse'schen Telegraphen, auf welchen zunächst die Versuche gerichtet waren, wird das Relais der signalisirenden Station durch das Niederdrücken des Schlüssels aus der Leitung ausgeschlossen, kann also nicht von dem aus der Ferne kommenden Strome getroffen werden. Es handelt sich also darum, zu bewirken, daß die Relais beider Stationen stets in ununterbrochener Leitung stehen; daß jedes Relais gleichwohl nicht von dem Schlüssel der eigenen, sondern nur von dem der entfernten Station afficirt wird. Dieses Problem ist von verschiedenen Seiten gelöst worden und zwar auf sehr verschiedene Weisen, die darauf hinaus kommen, daß der durch den Schlüssel der eigenen Station erregte Strom durch einen gleichzeitig erregten gleich starken Gegenstrom neutralisirt wird. Von theoretischer Seite ist dies Problem von Gintl in Wien für den chemischen Telegraphen, von Siemens und Halske in Berlin und Frischen in Hannover für den Morse'schen Apparat vollständig gelöst worden; in der praktischen Ausführung jedoch zeigen sich Schwierigkeiten, welche die Einführung des Gegensprechens vielleicht für immer verhindern werden.

Um unseren Lesern einen Begriff von dieser sinnreichen Einrichtung zu geben, wählen wir die einfachste, von Edlund in Stockholm für den Morse'schen und den Nadeltelegraphen vorgeschlagene Methode, welche jedoch auch für den chemischen Telegraphen Anwendung finden kann. Dieselbe wird aus dem Schema Figur 253 deutlich werden. Auf beiden Stationen I. und II. bezeichnet B eine galvanische Batterie, r das Relais eines Morse-Apparates, W einen Widerstandsmesser (Rheostat), bestehend aus einer Anzahl Rollen von isolirtem dünnen Neusilberdraht, von welchem eine beliebige Strecke in die Leitung eingeschaltet werden kann. Neusilber ist ein sehr schlecht leitendes Metall und man kann also durch Einschalten größerer oder kleinerer Stücke

(Fig. 253.)



den Leitungswiderstand vergrößern oder verkleinern. S ist der Schlüssel, P die Erdplatte, L der oberirdische Telegraphendraht. Bei e theilt sich der Strom; der eine Zweig desselben ist wie gewöhnlich um den Electromagneten des Relais gewunden und geht von da in die Leitung L über; der andere (punktirte) Zweig bildet eine äußere Umwindung des Relais-Magneten, aber in entgegengesetztem Sinne. Denken wir uns, daß um das weiche Eisen r in der Richtung des beigezeichneten Pfeiles ein galvanischer Strom ginge, so würde dasselbe nach der Ampère'schen Regel (S. 227) ein magnetischer Nordpol werden; geht aber von e aus um r in der Richtung der punktirten Leitung ein Strom, so wird r ein Südpol; gehen um r beide Ströme gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung und ist ihre Einwirkung auf das weiche Eisen gleich stark, so wird dasselbe eben so stark nord- als südmagnetisch, d. h. es bleibt unmagnetisch. Wenn also der Schlüssel S auf Station I. niedergedrückt wird, so wird die Batterie B geschlossen, bei e theilt sich der Strom; der eine Zweig bildet zuerst die innere Umwindung des Relais r, geht dann durch L nach Station II. bis e'; hier geht er, wenn nicht der Schlüssel S' auch niedergedrückt ist, in die andere (punktirte) Zweigleitung über, umkreist also das Relais r' auch in der äußeren Umwindung im gleichen Sinne und geht dann durch V', W', g', P', P g S zurück nach B. Der andere (punktirte) Zweig geht von e aus in entgegengesetzter Richtung um r, durch V nach dem Rheostaten W, nach g, wo er sich mit dem von der anderen Station zurückkommenden Zweigstrome wieder vereinigt und mit ihm durch S nach B zurückkehrt. Demnach wird das Relais r' arbeiten, das Relais r aber in Ruhe bleiben, wenn die beiden entgegengesetzten Umwindungen einander in Bezug auf ihre Einwirkung auf das weiche Eisen des Relais r gerade neutralisiren. Da die Stromstärke und also auch die magnetisirende Wirkung eines electrischen Stromes von dem Leitungswiderstande abhängig ist und dieser zur Länge des zu durchlaufenden Weges in directem Verhältniß steht, so muß bei der sehr ungleichen Länge der Wege, welche beide Zweigströme zu durchlaufen haben, für Einschaltung des richtigen Widerstandes Sorge getragen und derselbe auf jeder Station so lange vermehrt oder vermindert werden, bis beim Schließen des Schlüssels das eigene Relais in Ruhe bleibt. Dies wird durch Probiren gefunden.

Aus gleichen Gründen wird also das Relais r' in Ruhe bleiben, wenn die Batterie B' durch Niederdrücken des Schlüssels auf Station II. geschlossen

wird. Werden dagegen beide Schlüssel niedergedrückt, so müssen beide Relaisanker angezogen werden, weil der Zustand des Gleichgewichts der beiden in entgegengesetzter Richtung die Electromagneten umkreisenden Stromzweige aus leicht begreiflichen Gründen alsdann nicht mehr stattfindet. Ist die Ausgleichung also vorhanden, so steht jedes Relais blos unter dem Einfluß der entfernten Batterie und wird somit die Bewegungen des entfernten Schlüssels verzeichnen, der Schlüssel der eigenen Station mag geöffnet oder geschlossen sein. Hieraus entsteht die Möglichkeit des Gegensprechens auf demselben Drahte. Die Station I. kann eine Depesche nach II. senden und gleichzeitig eine Depesche von dort empfangen, während nach dem jetzigen Verfahren die empfangende Station so lange warten muß, bis die Depesche zu Ende ist.

So großen Vortheil die Lösung dieses Problems auf den ersten Anblick verspricht, so mißlich ist es doch mit der praktischen Ausführung. Zunächst ist es schon unmöglich, den Widerstand in einer und derselben Leitung constant zu erhalten; dieser ist von der Witterung (Feuchtigkeit und Temperatur der Luft) abhängig und mit dieser fortwährenden Schwankungen unterworfen. Der Telegraphenverkehr macht es aber erforderlich, daß eine Station sich mit jeder anderen des Telegraphennetzes in directe Correspondenz setzen kann. Hier würde also der Eröffnung der Correspondenz jedesmal die gegenseitige Regelung der Leitungswiderstände in dem Ausgleichungsdrahte vorausgehen müssen und somit ein Aufenthalt entstehen, der wahrscheinlich bedeutender wäre, als das jetzige Abwarten. Das Gegensprechen würde demnach allenfalls bei zwei Stationen anwendbar sein, welche fortwährend in lebhaftem Verkehr mit einander sind und mit anderen Stationen wenig zu thun haben. — Ein anderer Uebelstand ist der, daß jede Station erst das Ende der Depesche abwarten muß, ehe wegen eines etwa zweifelhaften Zeichens angefragt werden kann, während jetzt bei der Fig. 251 S. 377 skizzirten Einrichtung die Depesche jeden Augenblick durch eine Gegenfrage unterbrochen und sofort das Mißverständniß aufgeklärt werden kann.

Trotz aller Hochachtung vor dem Scharfsinn, mit welchem das Problem des Gegensprechens gelöst ist, glauben wir es doch aussprechen zu dürfen, daß wir demselben einen sehr geringen praktischen Werth beilegen.

Doppeltsprechen. Ebenso verhält es sich mit dem sog. Doppeltsprechen auf demselben Drahte. Hier handelt es sich darum, daß zugleich mehrere Depeschen in derselben Richtung durch denselben Draht telegraphirt werden können. Befinden sich z. B. auf Station I. die beiden Morse'schen Apparate A und B und auf Station II. die Apparate A' und B', so soll A mit A' und B mit B' correspondiren und wo möglich gegensprechen können, ohne daß einer der drei anderen in dieselbe Leitung eingeschalteten Apparate afficirt wird. Die verschiedenen Lösungen dieser Aufgabe beruhen auf denselben Grundsätzen, wie das Gegensprechen, doch ist die Verbindung der Leitungen, um verschiedene Stromstärken hervorzubringen, zu komplizirt und versprechen zu wenig praktischen Nutzen, als daß wir unsere Leser damit behelligen möchten.

Anwendungen der Telegraphie.

Die electrische Telegraphie hat sich bereits in wenigen Jahren mit reißender Schnelligkeit über alle Culturländer ausgebreitet und gewinnt noch fortwährend an Umfang und Bedeutung. Am 1. Januar 1859 waren im deutsch-österreichischen Telegraphen-Verein 424 Vereinsstationen und 480 Eisenbahn-Telegraphenstationen, also zusammen 902 Stationen in Betrieb;

die Zahl der außerhalb dieses Vereins in Europa und Nordafrica vorhandenen Telegraphenstationen betrug 2166. America besitzt ein sehr ausgebreitetes Telegraphennetz, besonders in den Vereinigten Staaten; ebenso sind in den ostindischen Besitzungen der Engländer und Niederländer viele Telegraphenlinien errichtet worden. Die Verbindung zwischen Europa und America durch das transatlantische Kabel ist zwar beim ersten Versuch (1858) nicht vollkommen gelungen, allein man hat dabei gelernt, welche Fehler künftig vermieden werden müssen; man hat vor allen Dingen die Gewißheit erlangt, daß eine solche Verbindung im Bereiche der Möglichkeit liegt, und es ist daher gegründete Aussicht vorhanden, daß dieser großartige Plan zur Ausführung kommen werde. Bald wird Ostindien mit dem europäischen Telegraphennetz in directer Verbindung stehen und bereits wird es in Erwägung gezogen, wie auch Australien und China in diese Verbindung hineinzuziehen seien.

Schon jetzt ist dieses neue Verkehrsmittel von unschätzbarem und so allgemein anerkanntem Werthe für Handel und Industrie, daß es überflüssig erscheinen würde, davon zu reden. Welche Bedeutung dasselbe in Zukunft erlangen dürfte, wenn von Ort zu Ort Telegraphenverbindungen vorhanden sein werden, das läßt sich jetzt im Kleinen schon in der Schweiz und Oberitalien wahrnehmen, wo die billige Taxe eine allgemeine Benutzung gestattet.

Wir erinnern an die Sicherheit des Lebens und Eigenthums, welche aus dem Telegraphenverkehr dem Einzelnen wie der Gesammtheit erwächst. Die telegraphische Nachricht eilt dem flüchtigen Verbrecher voraus; mit der Geschwindigkeit des Blitzes entsendet der Telegraph seine Warnung beim Herannahen eines Sturmes, beim Aufbruch des Eises großer Ströme, — seinen Hülferuf, wenn ein Unglück eingetreten ist. An Eisenbahnen ist daher der telegraphische Verkehr unentbehrlich. Großer Vortheil ist in Zukunft von einer ausgebreiteten systematisch betriebenen meteorologischen Correspondenz zu erwarten.

Seit der Einrichtung des Telegraphenverkehrs sind alle früheren Schwierigkeiten bei der Bestimmung der geographischen Länge eines Ortes verschwunden. Da sich die Erde in 24 Stunden einmal von Westen nach Osten um ihre Axe dreht, so rückt die Tageszeit mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung um die Erde. Daher hat Berlin ungefähr eine Stunde früher Mittag als London, weil beide etwa 15 Grade, den 24sten Theil des Kreises, von einander entfernt sind. Zu einer Längenbestimmung genügt es, die Zeit-Differenz der richtig gehenden Uhren zweier Orte festzustellen, was bei Orten, zwischen denen Telegraphendrähte ausgespannt sind, gar keine Schwierigkeit hat. Von besonderer Wichtigkeit sind die Ortsbestimmungen für die Orientirung auf dem Meere; dieselben geschehen mittelst genaugehender Uhren, welche nach der Zeit einer bestimmten Sternwarte gestellt sind. Zum Zweck der Längenbestimmungen haben sich die Sternwarten von Greenwich und Paris mittelst des unterseeischen Telegraphentaues zwischen Dover und Calais in directe Verbindung gesetzt, und um den Seefahrern Gelegenheit zu geben, den Gang ihrer Chronometer zu prüfen, wird von den genannten Sternwarten aus täglich die Zeit nach den wichtigsten Seehäfen telegraphisch mitgetheilt.

Welche Vortheile die Telegraphie im Kriege gewährt, das hat sich im letzten oberitalischen Feldzug gezeigt. Im französisch-sardinischen Heere wurde dieselbe im ausgedehntesten Maaße angewandt. Sobald ein Corps seine

Stellung eingenommen, wurde sofort ein Reiter zur nächsten Division abgesandt, der während des schnellen Rittes einen leichten Draht abrollte, der sogleich an die Feldtelegraphen-Apparate befestigt wurde; im Rücken der Alliirten arbeitete während ihres Vorrückens in der Lombardei ununterbrochen ein wohleingeübtes Telegraphen-Corps an der Leitung von Telegraphenlinien. Hierdurch mag sich zum großen Theil die merkwürdige Thatsache erklären, die ganz Europa in Erstaunen setzte, daß die numerisch überlegenen Oesterreicher an den entscheidenden Punkten stets in der Minorität blieben.

Mit Bestimmtheit ist zu erwarten, daß bei größerer Ausbreitung des Telegraphensystems und bei fortgesetztem Gebrauche sich die Vortheile dieses mächtigen Hebels der Bildung in ihrem vollen Umfange werden erkennen lassen.

Anhang.

Die electrischen Uhren.

Seit der Erfindung der Uhren hat sich die Uhrmacherkunst vergeblich bemüht, Uhren von durchaus gleichmäßigem Gange zu construiren. Kaiser Karl V. im Kloster zu Placencia war nicht der Letzte, welcher an der Lösung dieser Aufgabe verzweifelte; auch die mit den außerordentlich vervollkommneten Werkzeugen und mechanischen Hülfsmitteln der Neuzeit gebauten besten astronomischen Uhren stimmen nur kurze Zeit überein, und man ist gegenwärtig darüber einig, daß eine vollkommen gleichmäßige Bewegung von einem so complicirten Mechanismus nicht erwartet werden darf.

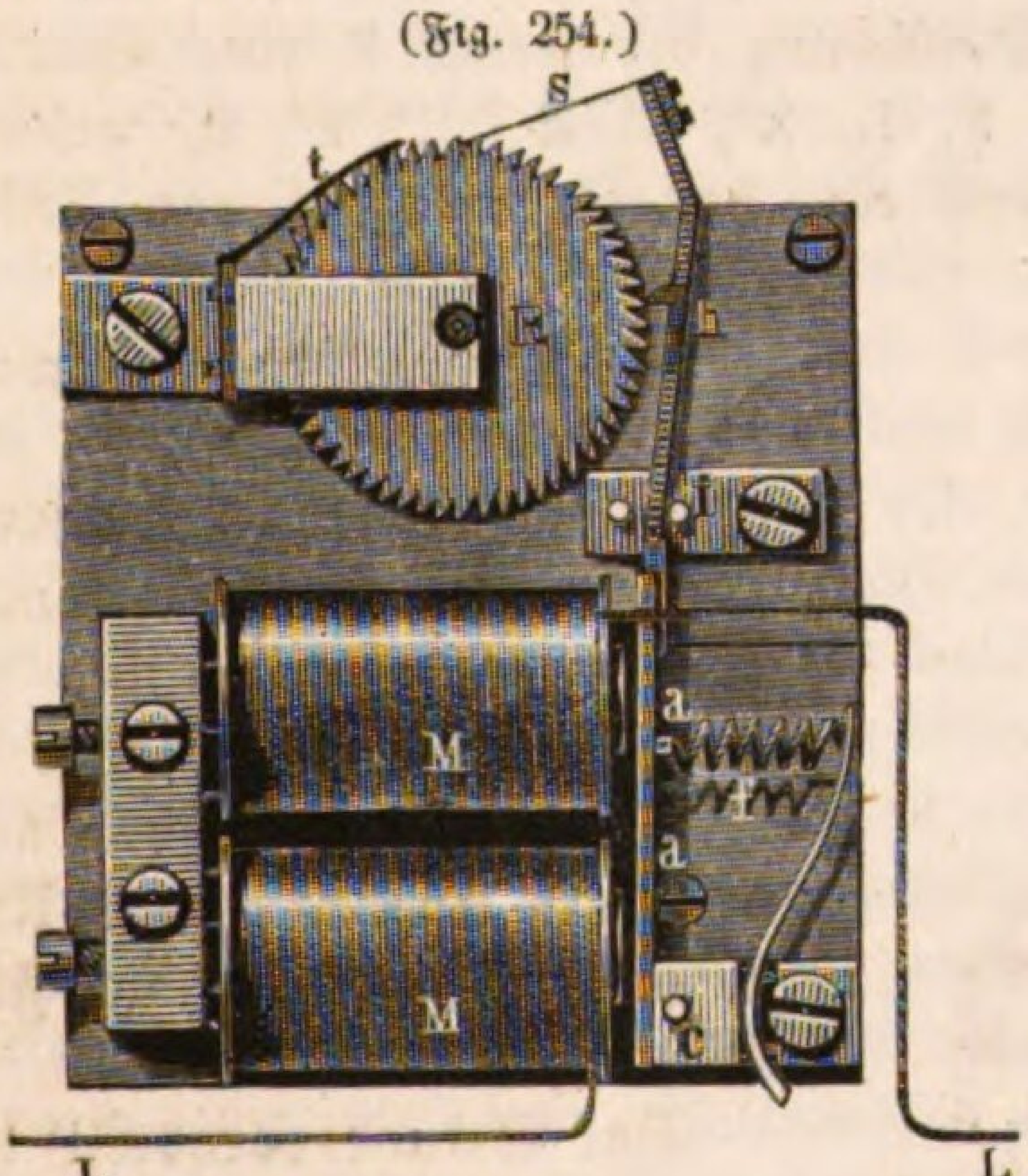
Mit der Erfindung der electrischen Telegraphie war die Möglichkeit gegeben, augenblicklich in beliebigen Entfernungen eine bewegende Kraft zu erzeugen, und somit lag der Gedanke nahe, die Zeit zu telegraphiren, oder die von einer richtig gehenden Uhr angezeigte Zeit auf eine beliebige Anzahl in beliebigen Entfernungen aufgestellter Zifferblätter zu übertragen. Andererseits war aber auch mit dem Electromagnetismus eine Kraft gegeben, welche als Triebkraft statt des Gewichtes oder der Federkraft benutzt werden konnte, um die Normaluhr im Gange zu erhalten.

Steinheil, dessen Name in der Geschichte der electrischen Telegraphie unbestritten in erster Reihe steht, war auch hier wieder der Erste, der die Idee der electrischen Uhr auffaßte und zur Ausführung brachte (1839). Von einer richtig gehenden Pendeluhr leitete er einen Draht nach einer Anzahl gewöhnlicher Uhren, deren jede einen Electromagneten enthielt; in den dadurch gebildeten Kreis war zugleich eine galvanische Batterie eingeschlossen; die

Unterbrechungsstelle des Schließungsbogens befand sich in der Normaluhr, welche durch einen einfachen Mechanismus nach Ablauf jeder halben Stunde den Strom auf kurze Zeit zu schließen hatte. Die von den hierdurch magnetisirten Electromagneten angezogenen Anker stellten die sämmtlichen Minutenzeiger, mit denen sie durch Hebel in Verbindung standen, vor- oder rückwärts auf die richtige Zeit. Es waren also gewöhnliche Gewichtuhren, welche alle halbe Stunden von der Normaluhr aus gerichtet wurden.

Ein Jahr später (1840) construirten Wheatstone und Bain, unabhängig von einander, electrische Uhren, welche gleichfalls eine durch anderweite Kraft in Thätigkeit gesetzte Uhr voraussetzten, und seitdem haben fast alle Erfinder von electrischen Telegraphen sich auch mit der Construction und Vervollkommnung der electrischen Uhren beschäftigt. Ein genaueres Eingehen in die sehr verschiedenartigen Constructionen würde zu weit führen; wir müssen uns darauf beschränken, unseren Lesern an je einem Beispiel zu zeigen, in welcher Weise der Electromagnetismus benutzt werden kann, die von einer Normaluhr gemessene Zeit nach einer beliebigen Anzahl von Zifferblättern zu telegraphiren, und wie derselbe als Triebkraft für die Normaluhr dienen kann.

(Fig. 254.)



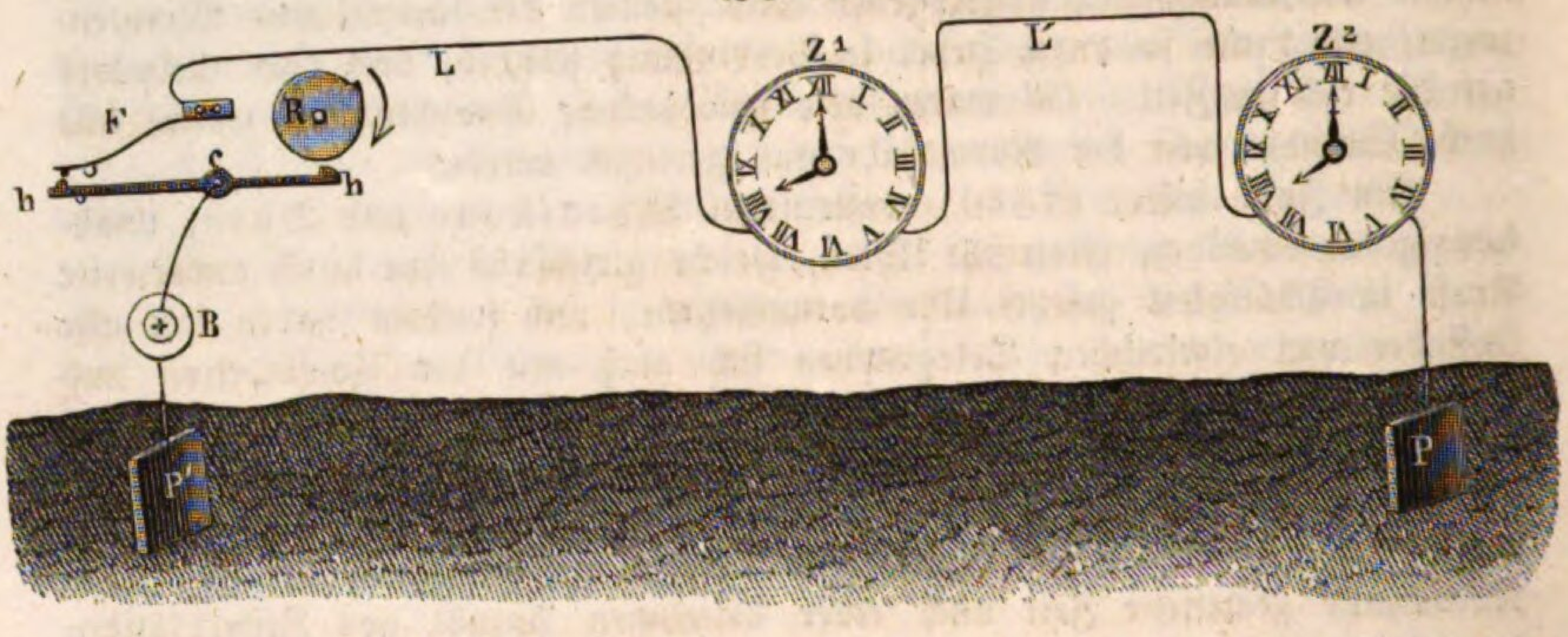
Aus der ersten Klasse wählen wir die in Fig. 254 dargestellte Construction von Siemens und Halske. Ein festgeschraubter Electromagnet M M ist in die Leitung L L eingeschaltet; vor ihm befindet sich der um den Punkt c drehbare vertical stehende Anker a a, dessen Bewegung durch die magnetische Kraft des Electromagneten M M und durch die Abreißfeder f bedingt, und durch die Aufhaltestifte i begrenzt ist. An seinem oberen Ende trägt dieser Anker einen Hebel, welcher in den federnden Stößer s endigt; dieser schiebt, wenn der Anker durch den Electromagneten angezogen wird, das Rad R um einen Zahn weiter, wobei die Schneide h in die nächstfolgende Zahnlücke eingreift und ein weiteres Fortstoßen des Rades verhindert. Zugleich gleitet der federnde Sperrhaken t über die schiefe Fläche des durchgeschobenen Zahnes und greift in die nächste Zahnlücke. Wird hierauf der Strom unterbrochen, also M M unmagnetisch, so wird der Anker durch die Feder f abgerissen und der Stößer s bis hinter den nächsten Zahn zurückgezogen, wobei der Sperrhaken t das Rückwärtsdrehen des Rades R verhindert.

Dieses Rad hat 60 Zähne und macht also eine volle Umdrehung, wenn der Strom 60 Mal geschlossen und unterbrochen wird; es trägt auf seiner Axe den Minutenzeiger des Zifferblattes, und seine Bewegung wird durch den gewöhnlichen Mechanismus auf den Stundenzeiger übertragen. Das Zifferblatt wird also die richtige Zeit zeigen, wenn nach Ablauf jeder Minute ein galvanischer Strom durch die Leitung L L geht.

Das regelmäßige Schließen und Unterbrechen ist der Normaluhr übertragen. Auf der Axe ihres Secundenrades, welches sich in jeder Minute

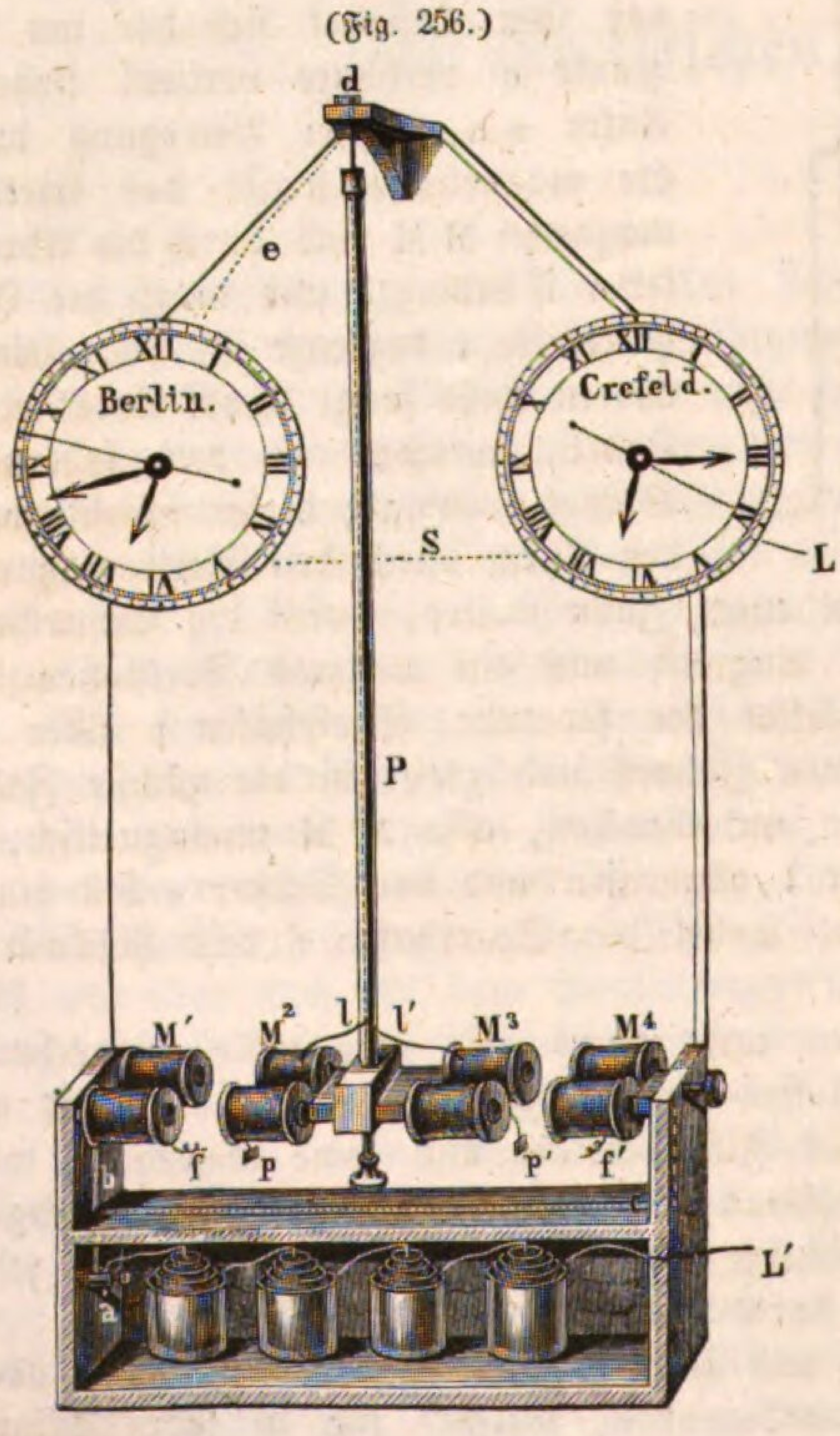
einmal in der Richtung des beigezeichneten Pfeiles herumdreht, ist eine elfenbeinerne Scheibe R (Fig. 255) befestigt, welche bei jeder Umdrehung, also

(Fig. 255.)



nach Ablauf jeder Minute, vermittelst einer s. g. Nase den um c drehbaren leichten Hebel h h auf der rechten Seite niederdrückt; hierdurch wird der linke Hebelarm gehoben und schließt durch Berührung der Feder F eine Secunde lang den galvanischen Strom B, c, h, F, L, Z¹, L', Z ², P, P', B, welcher, wie aus der Figur leicht ersichtlich, durch eine beliebige Anzahl von Zifferblättern geleitet werden kann.

(Fig. 256.)



Als Beispiel für die zweite Klasse electrischer Uhren, bei denen der Electromagnetismus zugleich als Triebkraft benutzt wird, um das Pendel der Normaluhr in Thätigkeit zu erhalten, wählen wir eine nach des Verf. Angabe gebaute Uhr, deren Construction aus Fig. 256 ersichtlich ist.

Das Secundenpendel P hat eine hölzerne Pendelstange und ist in dem Punkte d in gewöhnlicher Weise frei aufgehängt; auf der hinteren Seite ist in die Pendelstange ein Kupferdraht eingelegt, welcher eine metallische Leitung zwischen d, und den Kupferdrähten l und l' vermittelt. Statt der gewöhnlichen Linse hat das Pendel unten zwei Electromagneten M^2 und M^3, deren Umwindungen einerseits in die Platinplättchen p und p' endigen, andererseits durch l und l' mit dem Drahte des Pendels verbunden sind und durch

diesen mit dem Aufhängepunkte d in leitender Verbindung stehen. Von hier aus ist ein Draht c nach dem electromagnetischen Zifferblatt links (Berlin) gezogen, dessen Construction mit der von Siemens und Halske (Fig. 256) wesentlich übereinstimmt; aus diesem führt die Leitung S nach dem eben so eingerichteten Zifferblatte rechts (Crefeld) und endigt in die Leitung L, welche durch den Poldraht L′ mit dem einen Pole der Batterie in Verbindung gesetzt wird.

Der andere Poldraht derselben führt nach der Klemmschraube a, hier geht die Leitung, ein schmales Kupferband, aufwärts und theilt sich: der eine Zweig b führt nach dem Electromagneten M′, umkreist denselben und endigt in die Golddrahtspirale f, der andere Zweig c ist in gleicher Weise um M^4 geführt und endigt in das Golddrähtchen f′. Die beiden Electromagneten M′ und M^4 sind so fixirt, daß sie denen des Pendels genau gegenüberstehen. Wird nun das Pendel so weit aus seiner Gleichgewichtslage gebracht, daß f und p sich berühren, so ist die Kette geschlossen und die Secundenzeiger sämmtlicher Zifferblätter, deren zwischen L und L′ noch beliebig viele eingeschaltet sein können, springen um eine Secunde weiter und übertragen ihre Bewegung auf die Minuten- und Stundenzeiger. Die Electromagneten M′ und M^2, um welche während dieser Berührung der Strom kreist, sind aber so umwunden, daß gleichnamige Pole einander gegenüberstehen; die hierdurch bewirkte Abstoßung treibt das Pendel zurück; nach einer Secunde berühren sich f′ und p′, M^3 und M^4 stoßen sich wieder ab, und durch dieses Spiel wird das Pendel im Gange erhalten und bei jeder Schließung des Stromes sämmtliche Secundenzeiger um eine Secunde weiter geschoben. Das Pendel bleibt also im Gange, so lange die Batterie die ausreichende electromotorische Kraft entwickelt. Ein Vorzug dieses Pendels möchte darin zu suchen sein, daß dasselbe ganz frei und ungehindert schwingt, ohne durch das Eingreifen in ein Räderwerk oder durch den dauernden Druck einer Feder oder eines Gewichtes in seiner Bewegung gehemmt oder beschleunigt zu werden. Ein Nachtheil, den dasselbe mit allen durch Electromagnetismus getriebenen Uhren gemein hat, besteht darin, daß die Stromstärke der Batterie nicht constant erhalten werden kann. Stände eine vollkommen gleichbleibende Electricitätsquelle zu Gebote, so würden die durch Electricität getriebenen Pendeluhren ohne Frage die vollkommensten sein, da sie nicht aufgezogen zu werden brauchen.

Nach dem jetzigen Standpunkte der electrischen Technik ist eine solche stets gleichbleibende Electricitätsquelle nicht herzustellen, und demnach verdienen die electrischen Uhren der ersten Klasse den Vorzug, da hier wenigstens nur eine Uhr zu reguliren und eine Batterie im Stande zu halten ist. Manche größere Anstalten (z. B. die Gewerbeschule zu Crefeld) und manche Städte sind mit derartigen Uhren versehen, und es läßt sich eine weitere Verbreitung derselben erwarten.

Galvanoplastik.

Einleitung.

Unter den Erzeugnissen ägyptischen Kauffleißes, welche, nachdem sie in den Grabmälern von Memphis und Theben Jahrtausende geruht, durch die Expedition Napoleons nach Paris kamen, findet sich eine Anzahl kupferner Gegenstände, deren Darstellung bis auf die neueste Zeit als eine verloren gegangene Kunst erschien: lebensgroße Hohlfiguren von so dünnem Kupfer, daß dieselben nur wenige Pfunde wiegen, thönerne Gefäße, hölzerne Lanzenspitzen und Schwerter mit einem Ueberzug von Kupfer, an welchem auch bei der genauesten mikroskopischen Untersuchung weder der Schlag eines Hammers noch der Strich einer Feile, noch eine Löthung wahrzunehmen ist. Gegen die Erzeugung durch Guß sprach nicht allein der Einschluß von Holz, sondern auch die viel zu geringe Dicke des Kupfers, besonders aber die eigenthümliche körnig krystallinische Beschaffenheit des Metalles, wie sie nur an dem gediegen vorkommenden Kupfer hier und da bekannt war. Kurz, die Anfertigung dieser Gegenstände erschien als ein undurchdringliches Räthsel, welches erst in der neuesten Zeit durch die Erfindung der Galvanoplastik gelöst worden ist. Ein genauer Vergleich der fraglichen Alterthümer mit den Erzeugnissen der neuesten Industrie hat den Beweis geliefert, daß jene nur auf galvanoplastischem Wege erzeugt sein können, und daß die alten Aegypter mit den galvanoplastischen Operationen sehr vertraut gewesen sein müssen. Und in der That verhält es sich damit wie mit dem Ei das Columbus; die Galvanoplastik beruht auf Thatsachen und Erfahrungen, die längst bekannt waren, ehe dieselben richtig gewürdigt wurden und ehe die Einsicht in das Wesen der Electricität so weit vorgeschritten war, um dieselben zu verstehen. Es ist längst bekannt, daß ein eiserner Gegenstand in einer Kupfervitriollösung sich sogleich mit metallischem Kupfer überzieht, und ist dieses Verhalten längst zur Gewinnung des sogen. Cämentkupfers in Anwendung gewesen. Derartige zufällige Wahrnehmungen mochten es sein, welche den mit Vorliebe die Naturgesetze beobachtenden Aegyptern einen Fingerzeig gaben, einen Weg einzuschlagen, auf welchem ihre Industrie sodann weitere Fortschritte machte, ohne daß eine klare Erkenntniß des ursächlichen Zusammenhangs der beobachteten Thatsachen nothwendig hätte vorhanden sein müssen. Die neuere Galvanoplastik dagegen ist aus der wissenschaftlichen Erkenntniß erwachsen: in ihr hat die Industrie ein unschätzbares Mittel zu vollkommen getreuer Nachbildung und Vervielfältigung plastischer Formen erhalten, welches in allen Zweigen der bildenden Kunst bereits die verschiedenartigsten Anwendungen

findet und in manchen eine vollkommene Umwälzung hervorgerufen hat. Sie macht es dem Künstler leicht, seine Werke auf die mannichfaltigste Weise zu verzieren und so oft zu vervielfältigen, daß Kunstgegenstände, welche sonst nur wenige Bevorzugte besitzen konnten, jetzt auch dem minder Begüterten zugänglich geworden sind; sie dient insonderheit auch der Verbreitung der Wissenschaften und der Entwickelung allgemeiner Bildung, indem sie es möglich macht, von Naturgegenständen, von Holzschnitten, Kupferstichen u. s. w. die vollkommensten Copieen zu liefern.

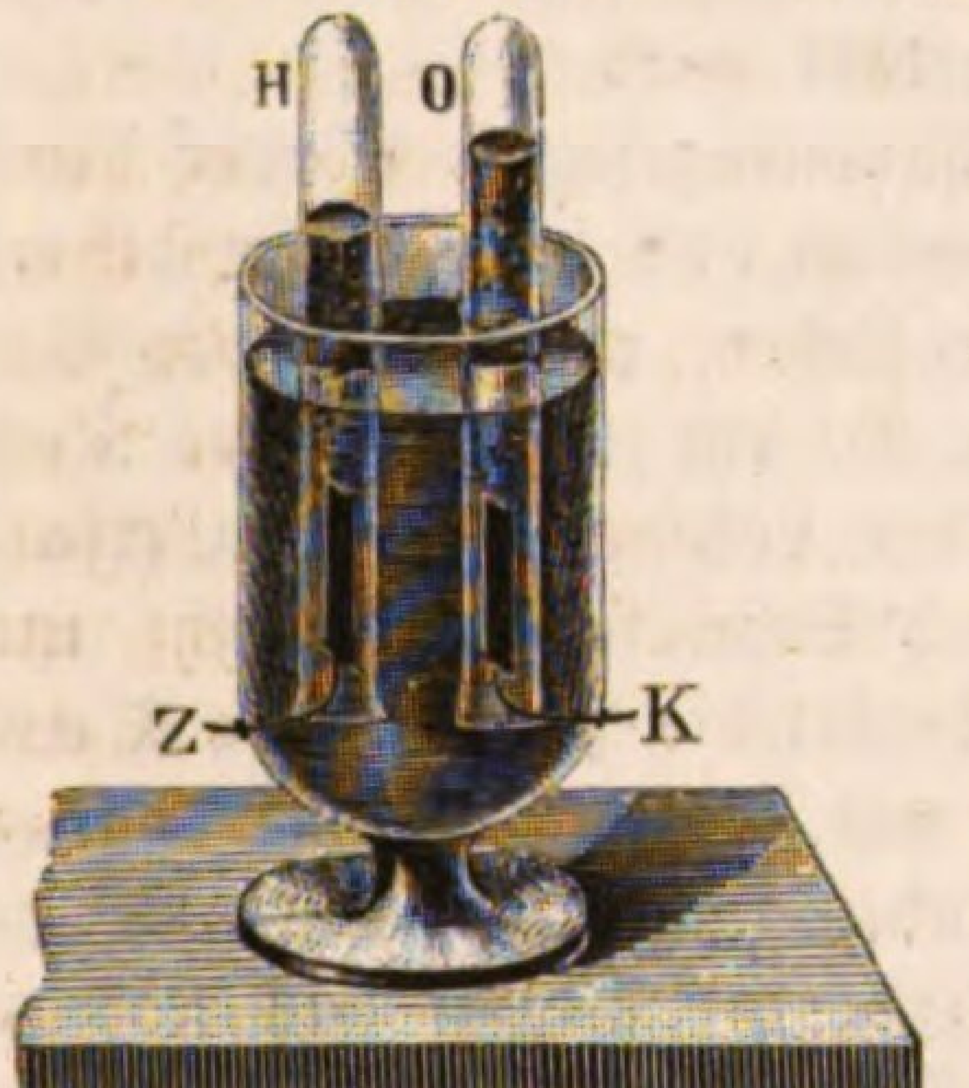
Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Die Galvanoplastik beruht auf der chemischen Zersetzung zusammengesetzter Körper durch den galvanischen Strom, und wir müssen daher die hierauf bezüglichen Thatsachen, von denen bereits im physikalischen Abschnitt S. 225 f. die Rede war, etwas genauer ins Auge fassen.

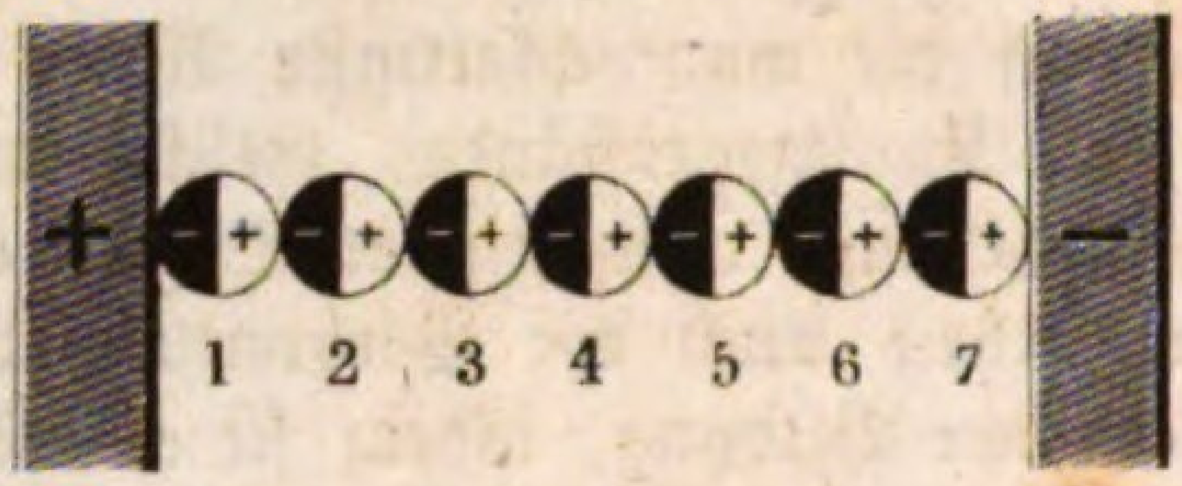
Zersetzung des Wassers.

Läßt man den galvanischen Strom durch Wasser gehen, welches der besseren Leitung halber mit etwas Schwefelsäure versetzt ist, so wird dasselbe in seine gasförmigen Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. So lange der Strom geschlossen ist, sieht man an den beiden Polplatten K und Z (Fig. 257) Gasblasen aufsteigen; fängt man beide Gase getrennt auf, so findet sich in dem über das positive Platinblech K gestülpten Gläschen O nur Sauerstoff, während sich am negativen Pole Z nur Wasserstoff entwickelt, welcher in dem Gläschen H aufgefangen wird. Da in jedem Atom Wasser beide Stoffe gegenwärtig sind, so sollte man erwarten, daß mit dem Zerfallen der chemischen Verbindung beide Gase an demselben Punkte auftreten müßten. Wie kommt es, daß man bloß an den Eintrittsstellen des positiven und des negativen Stromes diese Gasentwickelung wahrnimmt, während das zwischen beiden Drähten befindliche Wasser keine Zersetzung erleidet? Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich aus folgender Betrachtung: Wasserstoff und Sauerstoff sind entgegengesetzt electrisch, und zwar ist der Wasserstoff positiv, der Sauerstoff negativ. In der Chemie ziehen sich bekanntlich nur die Gegensätze an, und diese Anziehung, die man die chemische Verwandtschaft nennt, ist mit der Anziehung electrischer Gegensätze gleichbedeutend. In der chemischen Verbindung beider Stoffe sind die Gegensätze ausgeglichen, und daher zeigt das Wasser wegen der gleichförmigen Vertheilung der Atome beider Substanzen keine freie Electricität. Befindet sich dasselbe aber zwischen den Polen einer galvanischen Kette, so werden die zunächst an der positiven Platte liegenden Wassertheilchen eine solche Stellung einnehmen, daß ihr negativer Bestandtheil (Sauerstoff) dem positiven Pole zugekehrt, der positive Bestandtheil (Wasserstoff) abgewendet ist; denn nach dem electrischen Fundamentalgesetz ziehen sich die Gegensätze an, während die gleichnamigen Electricitäten einander abstoßen (S. 201). Das erste Wassermolekül wirkt in gleicher Weise richtend auf das zweite, dieses auf das dritte u. s. w., so daß sämmtliche zwischen den beiden Poldrähten befindlichen Wassermoleküle ihren Sauerstoff (—) dem positiven, ihr Wasserstoffatom (+) dem negativen Draht zukehren, wie es durch Fig. 258 versinnlicht wird, wo die Wassertheilchen 1—7 durch Kreise dargestellt sind, deren beide Hälften die Bestandtheile des

(Fig. 257.)



(Fig. 258.)

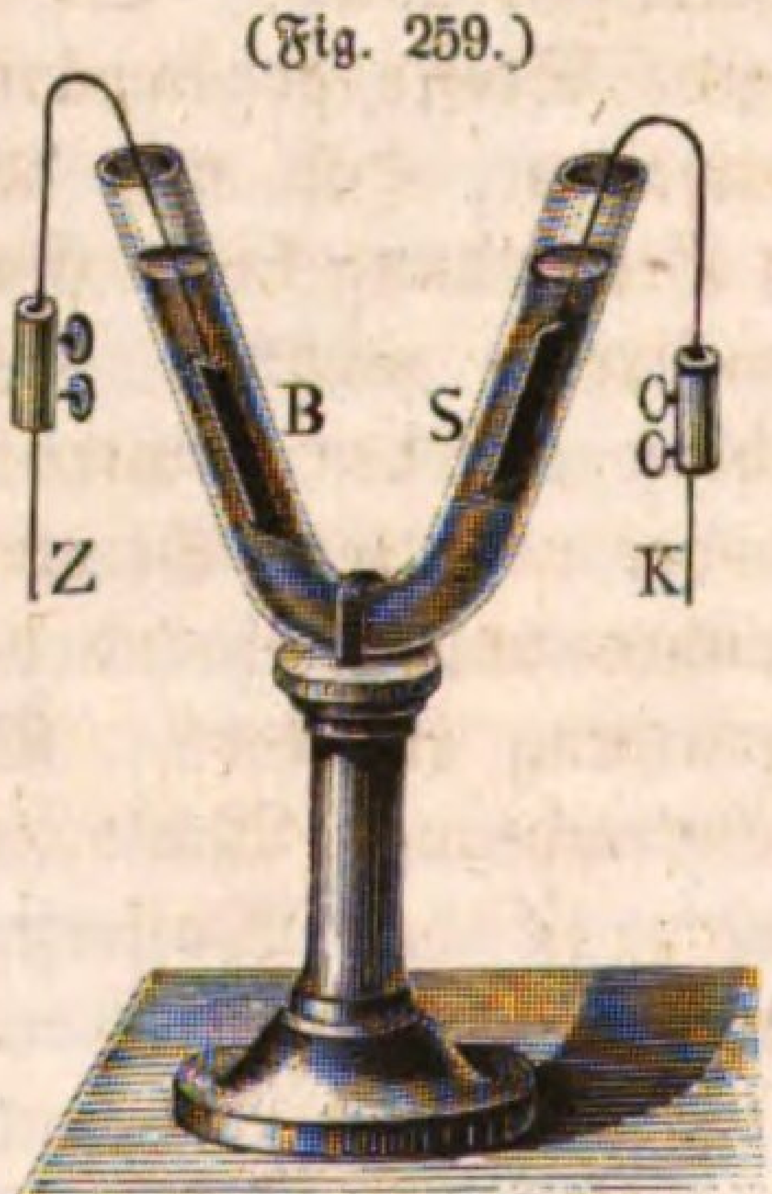


Wassers andeuten sollen. Wirkt nun die freie Electricität des positiven Drahtes auf das Wassertheilchen 1, so wird diesem sein Sauerstoff entzogen, gewissermaßen losgerissen von dem Wasserstoffatom; dieses aber verbindet sich mit dem Sauerstoff des Wassertheilchens 2, der dadurch frei werdende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Daraus ergibt sich, daß der Wasserstoff des letzten, an den negativen Pol grenzenden Wassertheilchens 7 übrig bleiben muß. Es findet also zwischen beiden Polen eine fortwährende Trennung und Wiedervereinigung der Elementarstoffe Statt; die letzteren treten nur an den Endpunkten auf, und zwar nothwendig in demselben Mengenverhältniß, in welchem sie zu Wasser vereinigt sind. Wendet man statt des Platindrahtes ein unedles, d. h. stark electropositives Metall an, so entwickelt sich am positiven Pole kein Sauerstoff, sondern derselbe verbindet sich mit dem Metall zu einem Oxyd, welches entweder einen Ueberzug bildet, oder, wenn eine freie Säure vorhanden ist, von dieser aufgelöst wird.

Chemische Zersetzung der Salze.

Auf dieselbe Weise werden alle chemisch zusammengesetzten Körper durch den galvanischen Strom in ihre Bestandtheile zerlegt, da diese Bestandtheile zu einander stets in einem electrischen Gegensatze stehen, welcher in der Verbindung seine Ausgleichung findet. Füllt man z. B. ein zweischenkliges Rohr BS (Fig. 259) mit der Lösung von Glaubersalz, welches aus Natron und Schwefelsäure besteht, und läßt man in beide Schenkel die Platinbleche K und Z eintauchen, welche mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden sind, so trennen sich die Bestandtheile des Salzes: die Basis, das Natron, sammelt sich in dem Schenkel B, in welchem sich das negative Platinblech befindet, die Schwefelsäure begibt sich, angezogen vom positiven Pol, in den Schenkel S. Man kann diesen interessanten Vorgang ausgezeichnet zur Anschauung bringen, wenn man die Salzlösung vorher mit einem Auszug von Veilchenblättern oder Rothkohl färbt. Der blaue Farbstoff dieser Pflanzen wird nämlich durch Säuren roth, durch Basen grün gefärbt, und man kann die fortschreitende Zersetzung mittelst dieser Farbenwandlung genau verfolgen. Kehrt man die Richtung des Stromes um, so kehren sich auch die Farben um. Dieselben Zersetzungen finden nothwendig auch in den Flüssigkeiten der galvanischen Erregungsapparate selbst Statt; die sich daraus ergebende Schwächung des galvanischen Stromes wird bei den sogen. constanten Ketten vermieden, über welche wir in der Abhandlung über electrische Telegraphie, S. 352 u. f., das Nähere angegeben haben. Uns interessirt hier vorzugsweise die S. 355 beschriebene Daniell'sche constante Kette, da dieselbe zur Entdeckung der Galvanoplastik geführt hat. Das electronegative Metall (Kupfer) ist bei dieser Kette in eine Lösung von Kupfervitriol getaucht und es wird sowohl dieses Salz, als auch das lösende Wasser zersetzt. Wir wollen versuchen, diese doppelte Zersetzung schematisch darzustellen:

(Fig. 259.)





Von der Zinkplatte, welche den positiven Pol der galvanischen Kette bildet, wird der Sauerstoff des Wassers angezogen; er vereinigt sich mit dem Zink zu Zinkoxyd, welches sich mit der aus der Zersetzung des Kupfervitriols hervorgehenden electro-negativen Schwefelsäure verbindet und damit ein neues, im Wasser lösliches Salz, Zinkvitriol oder schwefelsaures Zinkoxyd bildet. Die positiven Bestandtheile des Wassers und des Kupfervitriols, Wasserstoff und Kupferoxyd, gehen nach dem negativen oder Kupferpol; beide wirken aber so auf einander, daß der Sauerstoff des Kupferoxyds sich mit dem Wasserstoff zu Wasser vereinigt und daß metallisches Kupfer ausgeschieden wird. Daraus geht hervor, daß durch die Wirkung des Stromes sich die Kupfervitriollösung verdünnt, indem sich dafür eine entsprechende Menge Zinkvitriol bildet. Soll die Wirkung der Kette constant sein, so muß in der Kupfervitriollösung stets eine Quantität ungelöster Krystalle vorhanden sein, um die Lösung concentrirt zu erhalten. Das metallische Kupfer, welches sich hierbei absetzt, bildet auf der Kupferplatte der Daniell'schen Kette eine dichte zusammenhängende Masse, welche sich davon trennen läßt und dann mit größter Genauigkeit alle Vertiefungen in erhabener Form wiedergiebt. Dieser früher schon von mehreren Physikern beobachtete Vorgang brachte im Jahre 1839 den deutschen Professor Jacobi in Petersburg auf den glücklichen Gedanken, gravirte Kupferplatten, Münzen u. s. w. dadurch zu copiren, daß er dieselben als negativen Pol in die Daniell'sche Kette einsetzte. Er gab der zu galvanoplastischen Zwecken benutzten Daniell'schen Kette eine entsprechende Form und seine Versuche waren mit ausgezeichnetem Erfolge gekrönt. Sobald er sein Verfahren publicirt hatte, bewies der Engländer Spencer, daß er dieselbe Erfindung unabhängig von Jacobi gleichfalls gemacht hatte. Sogleich erkannte man allgemein die große Wichtigkeit derselben; eine Menge der nützlichsten Anwendungen der neuen Kunst stellten sich in Aussicht; sie wurde daher mit Begeisterung aufgenommen und im Laufe der Zeit vielfach erweitert und verbessert, so daß dieselbe eine bedeutende Stelle in der heutigen Industrie einnimmt.

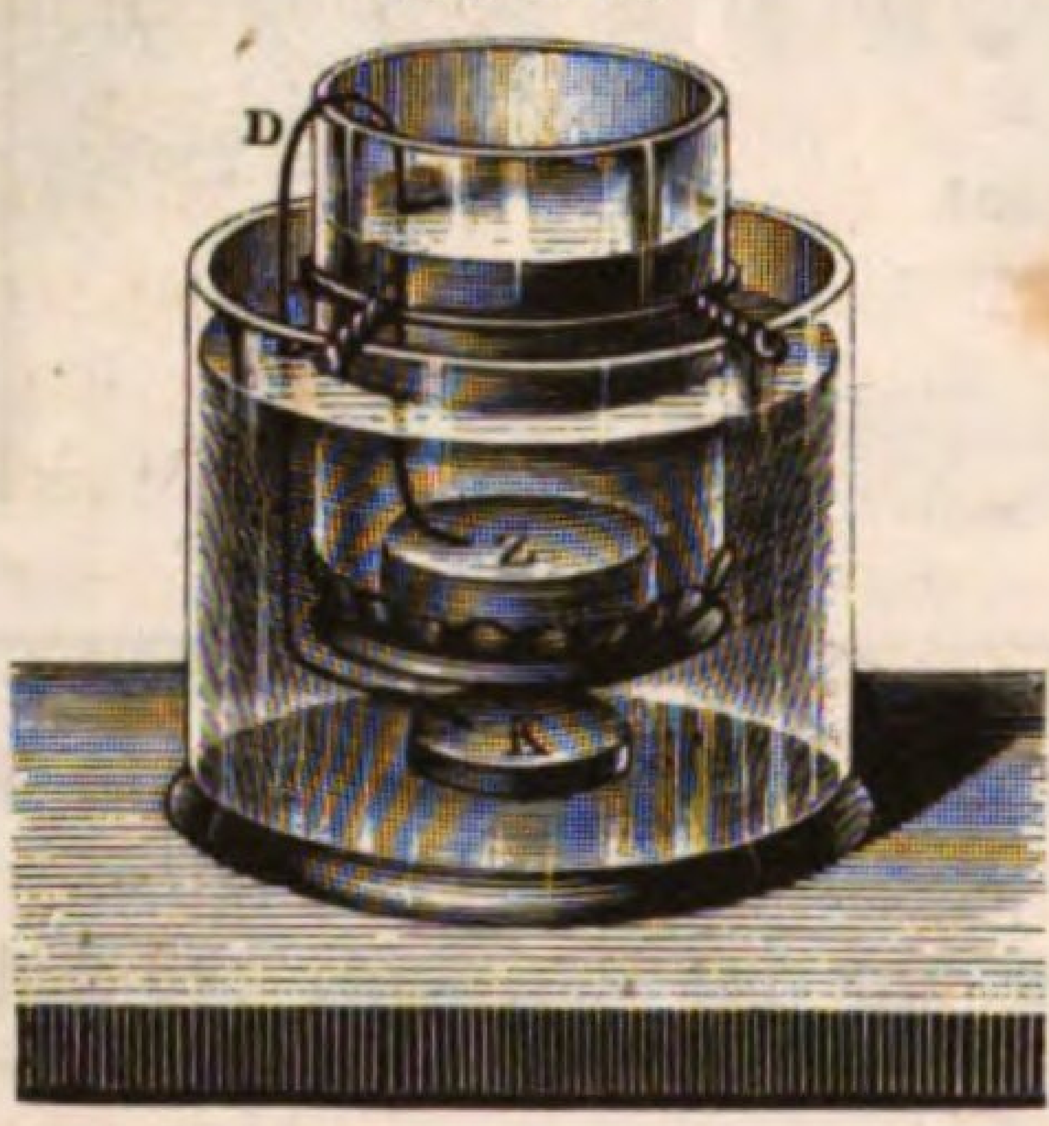
Da bei der galvanischen Zersetzung das Kupfer die Erhabenheiten und Vertiefungen der Fläche umgekehrt darstellt, so ist es nothwendig, sich von dem abzubildenden Gegenstande zunächst einen Abdruck oder eine sogenannte Matrize zu verschaffen. Dies geschah ursprünglich stets auf galvanoplastischem Wege. Gesetzt man wollte eine Medaille copiren, so legt man dieselbe, nachdem sie vorher auf ihrer Rückseite und ringsum am Rande mit geschmolzenem Wachs bestrichen ist, um hier den Kupferabsatz zu verhindern, auf den Boden eines hinreichend weiten Glasgefäßes (Fig. 260). In dasselbe setzt man dann, wie aus der Abbildung ersichtlich, einen beiderseits

Galvanoplastische Copieen.

Matrize.

offenen Glascylinder ein, der am unteren Ende mit einer Schweinsblase zugebunden ist. Ein Zuckerglas mit abgesprengtem Boden eignet sich dazu ganz gut.

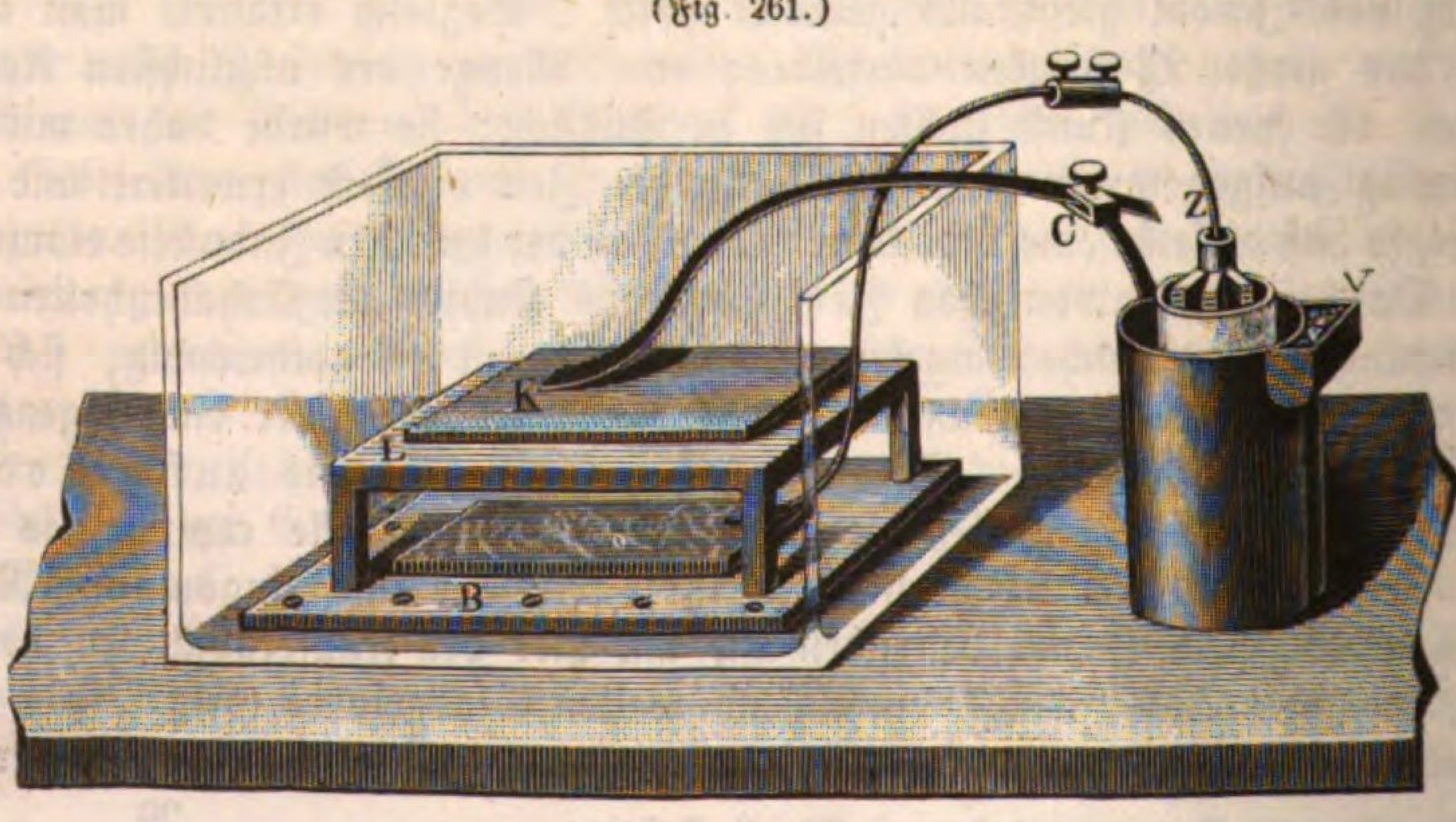
(Fig. 260.)



In diesen inneren Cylinder hängt man sodann einen amalgamirten Zinkblock Z mittelst des darin eingeschmolzenen Kupferdrahtes D, so daß er die Schweinsblase beinahe berührt. Der Kupferdraht D ist so gebogen, daß er zugleich die Münze K berührt. Er wird, so weit er in die Flüssigkeit zu tauchen hat, gleichfalls mit Wachs oder einem anderen Nichtleiter überzogen; bloß der Punkt, wo er die Münze berührt, bleibt von dem Ueberzuge frei. Das äußere Gefäß wird nun mit Kupfervitriollösung, der innere Cylinder, in welchem das Zink hängt, mit Wasser gefüllt, welchem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Sogleich bedeckt sich die Medaille mit einem dünnen Kupferüberzuge. Um das ausgeschiedene Kupfer zu ersetzen, bringt man in die Lösung einige Kupfervitriolkrystalle und ersetzt dieselben, so wie sie sich lösen, durch neue. Nach etwa 24 Stunden wird die Kupferschicht in der Regel dick und fest genug sein, um sie ablösen zu können. Die Trennung macht keine Schwierigkeit, wenn die gut gereinigte Münze vor dem Einlegen mit etwas Oel sorgfältig abgerieben wurde. Wenn das Original sammt der anhaftenden Matrize aus dem Apparate genommen ist, wäscht man dieselbe sorgfältig ab, entfernt alles Wachs und erwärmt beide über einer Spiritusflamme; die Trennung erfolgt dann in der Regel ohne Weiteres mit einem schwachen Knall. Um das Anhaften der Matrizen an großen Kupferplatten mit sehr feiner Gravirung, z. B. an den für den Landkartendruck bestimmten Kupferstichen, zu verhindern, wird nach Mathiot die sorgfältig gereinigte und ganz schwach galvanisch versilberte (s. u.) Originalplatte mit einer sehr verdünnten Jodlösung (1 Theil Jod in 20,000 Th. Alkohol) gewaschen und dann einige Stunden der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt. Hierdurch leidet die Schärfe der Zeichnung nicht im Mindesten, und die Matrize trennt sich ganz leicht vom Originale.

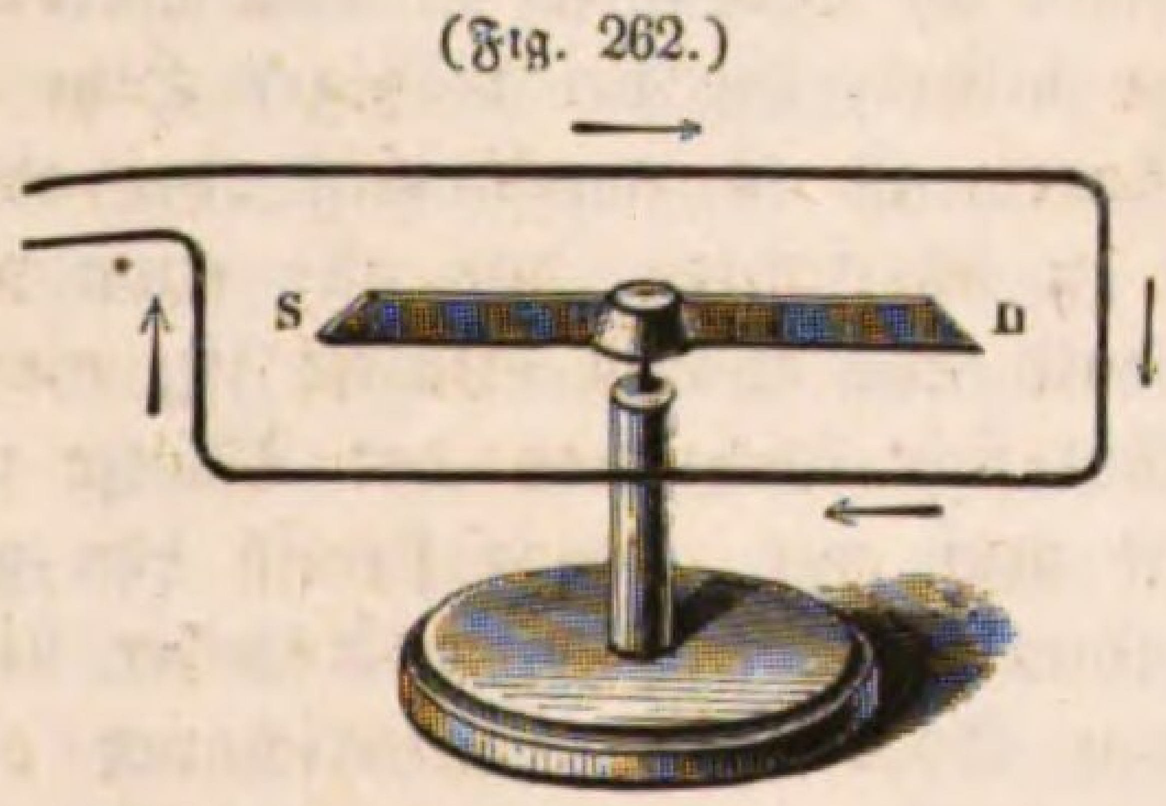
Ein Apparat für derartige Platten ist Fig. 261 dargestellt. Die zu copirende Platte liegt auf dem Brett B am Boden eines großen gläsernen

(Fig. 261.)



Troges und steht durch einen mit Wachs überzogenen Draht mit dem negativen Pole Z einer galvanischen Kette in Verbindung. Der positive Pol ist durch den Kupferstreifen C mit einer starken Kupferplatte K in Verbindung gebracht, welche auf einem durchlöcherten Bänkchen L liegt und in Leinwand eingeschlagen ist, damit bei ihrer Auflösung keine Unreinigkeiten auf die darunter liegende Form fallen. Der Glastrog ist mit einer nicht ganz concentrirten Kupfervitriollösung gefüllt. Hier ist die Electricitätsquelle außerhalb des Troges in dem daneben stehenden Daniell'schen Elemente zu suchen. Durch Hinzufügung mehrerer Elemente kann man den Strom verstärken, durch Einschiebung eines Rheostaten, d. h. einer beliebig großen Strecke eines dünnen, schlecht leitenden Drahtes (S. 382) den Leitungswiderstand vergrößern, also die Stromstärke verringern. Wir berufen uns hierbei auf dasjenige, was wir über die Intensität des galvanischen Stromes bei Gelegenheit der Telegraphenleitungen (S. 356) gesagt haben. Allgemeine Regel ist bei galvanoplastischen Operationen, daß zu Anfang des Prozesses, während sich der erste dünne Ueberzug bildet, ein sehr schwacher Strom gegeben werden muß; späterhin, wenn es sich blos um Verstärkung des Abdrucks handelt, kann man den Kupferniederschlag beschleunigen, indem man den Strom verstärkt. Um die Stromstärke zu beurtheilen, kann man in die Drahtleitung ein Galvanometer (Fig. 262) einschalten, welches durch die Größe der Ablenkung der Magnetnadel sn die Stärke des Stromes anzeigt (s. S. 229). Wir bemerken hierbei, daß eine bedeutende Verstärkung des Stromes herbeigeführt, also die Verdickung des Kupferniederschlages sehr beschleunigt wird, wenn man die Kupfervitriollösung erwärmt. Die Flüssigkeiten zeigen hierin das umgekehrte Verhalten der Metalle: ein Metalldraht leistet einen größeren Leitungswiderstand, wenn er heiß, als wenn er kalt ist; Flüssigkeiten dagegen leiten den Strom desto besser, je höher ihre Temperatur ist.

(Fig. 262.)



Wir haben oben (S. 393) gesehen, daß durch den galvanischen Proceß der Sauerstoff des zerlegten Wassers und die Schwefelsäure des Kupfervitriols an dem positiven Pole ausgeschieden werden; besteht letzterer, wie im Daniell'schen Elemente, aus Zink, so bildet sich Zinkvitriol; besteht er, wie hier (Fig. 261), aus Kupfer, so bildet sich Kupfervitriol, indem sich von der Platte K stets so viel auflöst, als auf die negative Polplatte B niedergeschlagen wird. Hierdurch behält die Lösung die gleiche Concentration bei, ohne daß krystallisirter Kupfervitriol zugesetzt werden müßte. Wir werden weiterhin sehen, daß man von demselben Prinzip, besonders beim Niederschlagen der edlen Metalle, vielfach Anwendung macht.

Die auf die vorher angegebene Weise dargestellte galvanoplastische Matrize wird, sobald sie die hinreichende Dicke erlangt hat, sammt dem Original aus dem Apparate genommen und mit reinem Wasser abgespült; man entfernt dann sorgfältig alles Wachs, feilt den etwa gebildeten überstehenden Rand ab und trennt die Matrize vom Original, indem man am Rande ein Messer dazwischen schiebt. Um nun von der Matrize einen richtigen Abdruck zu bekommen, wird sie genau ebenso behandelt, wie zuerst die Originalplatte.

26*

Die galvanoplastisch dargestellten Matrizen sind allerdings die schärfsten und dazu die dauerhaftesten. Allein ihre Anfertigung erfordert viel Zeit, große Sorgfalt und ein theures Material. Sie sind daher nur für die feinsten gravirten Platten und für solche Gegenstände beibehalten worden, welche eine wiederholte Anwendung derselben Matrizen wünschenswerth machen.

Matrizen aus leichtflüssigem Metall. Sehr bald fand man Wege, die Matrizen leichter und schneller darzustellen, indem man Münzen, Holzschnitte u. dergl. in einem leicht schmelzbaren Metalle abformte. Eine Mischung aus 3 Theilen Blei, 2 Th. Zinn und 5 Th. Wismuth, welche schon bei 91 ⁰ C. schmilzt, eignet sich hierzu vortrefflich. Der abzuformende Gegenstand wird in die Oberfläche der geschmolzenen Legirung in dem Augenblicke eingestoßen, wo dieselbe erstarrt.

Einen bedeutenden Fortschritt machte die Galvanoplastik, als man fand, daß die Matrizen nicht nothwendig aus einem Metall bestehen müssen, sondern jede plastische oder leicht schmelzbare Substanz dazu dienen könne, wenn man nur die Oberfläche, auf welcher der galvanische Niederschlag entstehen soll, leitend macht. Zum Abformen von Münzen kann man eine Mischung

aus Wachs. von gleichen Theilen Wachs und Stearin nehmen, welcher man eine kleine Quantität Schlemmkreide oder feingepulvertes Bleiweiß zusetzt. Die Masse wird mehrmals umgeschmolzen und gut gemischt. Man bindet um die sorgfältig gereinigte und mit etwas Oel abgebürstete Münze einen Rand von Papier, schneidet dies an der Unterseite ab und gießt in das hierdurch gebildete Gefäß, dessen Boden die Münze bildet, die bei mäßiger Hitze geschmolzene Mischung. Bevor letztere erstarrt, ist es zweckmäßig, die abzuformende Fläche mit einem feinen Pinsel zu überfahren, um alle etwa vorhandenen Luftbläschen zu entfernen. Sobald das Wachs erkaltet ist, nimmt man den Papierrand ab, die Matrize löst sich leicht von der Münze und zeigt eine ganz scharfe Ausprägung. Sie muß nur, bevor sie in den galvanischen Apparat eingesetzt wird, mit einem guten Electricitätsleiter überzogen werden. Früher wählte man dazu Gold- oder Silberschaum oder unfühlbar feines Silberpulver: Murray entdeckte, daß man dieses kostspielige

Graphit. und sehr mühsame Verfahren durch Anwendung des viel billigeren Graphits ersetzen könne; der englische Graphit eignet sich hierzu wegen seiner Feinheit am besten. Graphit leitet die Electricität sehr gut und läßt sich leicht in ein äußerst zartes Pulver verwandeln, welches mit einem feinen Pinsel oder einer zarten Bürste ohne große Mühe in einer überaus dünnen zusammenhängenden Schicht auf der zu copirenden Fläche verbreitet werden kann, wobei die feinsten Erhabenheiten und Vertiefungen vollkommen gut erhalten bleiben.

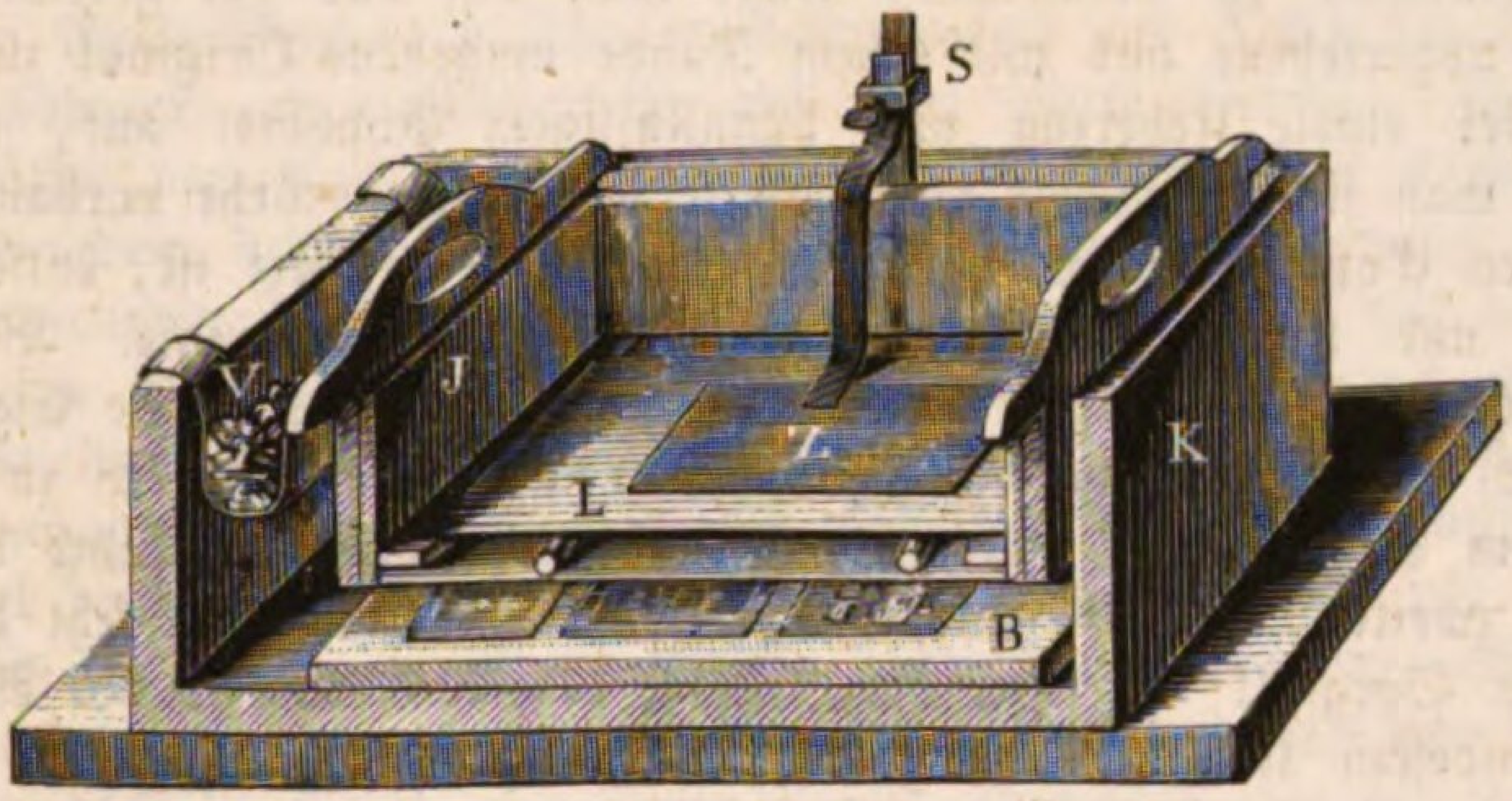
Ein ganz vorzügliches, weit dauerhafteres Material, besonders zu Matrizen für Holzschnitte, ist die Gutta-Percha. Diese Substanz ist im

Matrizen aus Gutta-Percha. erwärmten Zustande ganz weich und so vollkommen plastisch, daß sie die feinsten Formen mit der größten Schärfe wiedergiebt. Man legt dieselbe in heißes Wasser, wobei sie sich erweicht, knetet sie mit nassen Händen sorgfältig zu einer gleichförmigen Masse und legt, wenn ein mäßiger Grad der Erstarrung eingetreten ist, eine angemessene Menge auf den gut gereinigten, mit feinem Graphit überbürsteten und mit einem vorstehenden metallenem Rande umgebenen Holzschnitt, bedeckt sodann die Gutta-Percha mit einer Metallplatte und setzt das Ganze dem allmählig verstärkten Druck einer Schraubenpresse aus. Nach einer halben Stunde ist die Matrize so weit abgekühlt und erhärtet, daß man sie abnehmen kann. Der überschießende Rand läßt sich mit einem scharfen Messer leicht abschneiden. Vor dem Einsetzen in den

Apparat wird die Gutta-Percha-Matrize durch sorgfältiges Ueberbürsten mit Graphit leitend gemacht.

Fig. 263 zeigt einen galvanoplastischen Apparat zum gleichzeitigen Abformen mehrerer Holzschnittmatrizen. Dieselben werden auf einem Brett B mit Messingstiften aufgenagelt und durch ganz dünne kupferne Leitungsdrähte, die an die etwas vorstehenden Köpfe der Messingstifte befestiget werden, unter einander, so wie mit dem aufwärtsgehenden Kupferstreifen S verbunden. Das Brett wird auf den Boden eines hölzernen, mit einem guten Lack ausgestrichenen*) Kastens K gelegt und durch gefirnißte Bleigewichte beschwert, so daß es in der Kupfervitriollösung nicht schwimmt. Der Boden des inneren Kastens J ist aus Pergament oder Kalbsleder gebildet; über demselben liegt auf einem ausgespannten Stück Leinwand L die Zinkplatte Z, von welcher ein kupferner Bügel aufwärts geht, um die Verbindung mit dem Kupferstreifen S durch eine Klemmschraube herzustellen.

(Fig. 263.)



Soweit die beiden kupfernen Verbindungsstreifen in die Flüssigkeit eintauchen, sind dieselben mit einem isolirenden Anstrich überzogen. Der äußere Kasten K wird hierauf mit Kupfervitriollösung, der innere Kasten J mit sehr verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Im oberen Theile von K hängt eine siebartig durchbrochene kupferne Rinne V, welche Kupfervitriolkrystalle enthält. Wenn sich die Matrizen mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer bedeckt haben, setzt man in J etwas mehr Schwefelsäure zu, wodurch der Strom verstärkt und somit die Kupferablagerung beschleunigt wird.

Haben die Kupferniederschläge die gewünschte Dicke erlangt, so wird der Apparat auseinander genommen. Die Abdrücke trennen sich leicht von den Gutta-Percha-Matrizen. Um dieselben zum Druck fertig zu machen, werden sie auf der Rückseite mit Schriftmasse, einer Legirung von Blei, Antimon und Zinn, verstärkt, darnach abgerichtet und auf ein Holz- oder Bleiklötzchen von entsprechender Höhe befestigt. Um die Schriftmasse auf dem Kupferniederschlag haften zu machen, muß der letztere zuvor auf der Rückseite verzinnt werden. Da die Kupferplatten weit mehr Abdrücke aushalten, als die weichen leicht abgenutzten Holzschnitte, so ist es hierdurch möglich, von einem Holzschnitt eine beliebige Anzahl guter Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren an Schärfe nachstehen. Der meist mit vieler Mühe und großen Kosten hergestellte Original-Holzschnitt bleibt nämlich, da nicht von diesem, sondern von der galvanischen Platte gedruckt wird,

*) Das beste Material ist eine Mischung aus gleichen Theilen Gutta-Percha und Colophonium. Dieser ungemein haltbare Kitt wird im geschmolzenen Zustande aufgetragen; er ist ein vorzüglicher Isolator, schließt vollkommen wasserdicht und wird von chemischen Agentien nicht angegriffen.

zu etwa nothwendig werdenden neuen galvanischen Abgüssen in Reserve. Sämmtliche Illustrationen dieses Werkes sind mit galvanoplastisch erzeugten Kupferplatten gedruckt.

Matrizen aus Gyps.

Von solchen Originalien aber, welche weder Druck noch Hitze ertragen können, werden die Matrizen am besten aus Gyps gemacht. Um die Bildung von Luftbläschen zu vermeiden, trägt man auf das gut gereinigte, mit etwas Oel abgeriebene und mit einem Rande umgebene Original zuerst mit einem Pinsel einen Ueberzug von dünnflüssigem Gypsbrei auf, und fügt erst, wenn man sich überzeugt hat, daß keine Bläschen mehr vorhanden sind, den übrigen Gypsbrei hinzu. Sobald der Gyps erstarrt ist, entfernt man den Rand und trennt die Matrize vorsichtig vom Originale. Beim scharfen Austrocknen zieht sich der Gyps ein wenig zusammen, eine Eigenschaft, welche sich mitunter benutzen läßt, um verkleinerte Copieen zu erzeugen. Zu dem Ende nimmt man von dem ersten Gypsabguß nach dem Trocknen einen zweiten, von diesem einen dritten u. s. w. Geschieht dies mit der nöthigen Sorgfalt, so kann man, ohne daß die Schärfe der Ausprägung im mindesten leidet, beliebige Verkleinerungen des Originals erhalten, in denen alle Verhältnisse richtig bleiben. — Vor dem Gebrauche wird die am Ofen völlig ausgetrocknete und bis etwa 60° C. erwärmte Form mit der Rückseite in geschmolzenes Wachs oder Stearin getaucht, welches den Gyps leicht durchdringt. Sobald dasselbe an der Oberfläche erscheint, wird die Matrize herausgenommen und an der Oberfläche durch aufgelegtes Löschpapier getrocknet, um jeden Ueberschuß, welcher durch Ausfüllung der zartesten Vertiefungen die Schärfe der Form benachtheiligen würde, hinwegzunehmen. Nach dem Erkalten wird die Oberfläche der Matrize mittelst einer weichen Bürste mit Graphit oder feinem Bronzepulver überzogen und in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt.

Galvanoplastische Statuen 2c.

Die bisher beschriebenen Methoden können selbstverständlich nur zum Abformen solcher Gegenstände dienen, welche geringe Erhabenheiten und Vertiefungen haben, wie Medaillen, Siegel, Holzschnitte und Druckplatten aller Art. Schwieriger ist das Verfahren, besonders die Herstellung der Matrize, wenn die nachzubildenden Gegenstände ein stark hervortretendes und unterarbeitetes Relief haben, oder wenn Büsten, Statuen u. dgl. copirt werden sollen. Es ist häufig nicht möglich, den Gegenstand in einzelnen Theilen nachzubilden und diese durch Löthung zu vereinigen, da hierbei leicht das Original zerstört werden könnte.

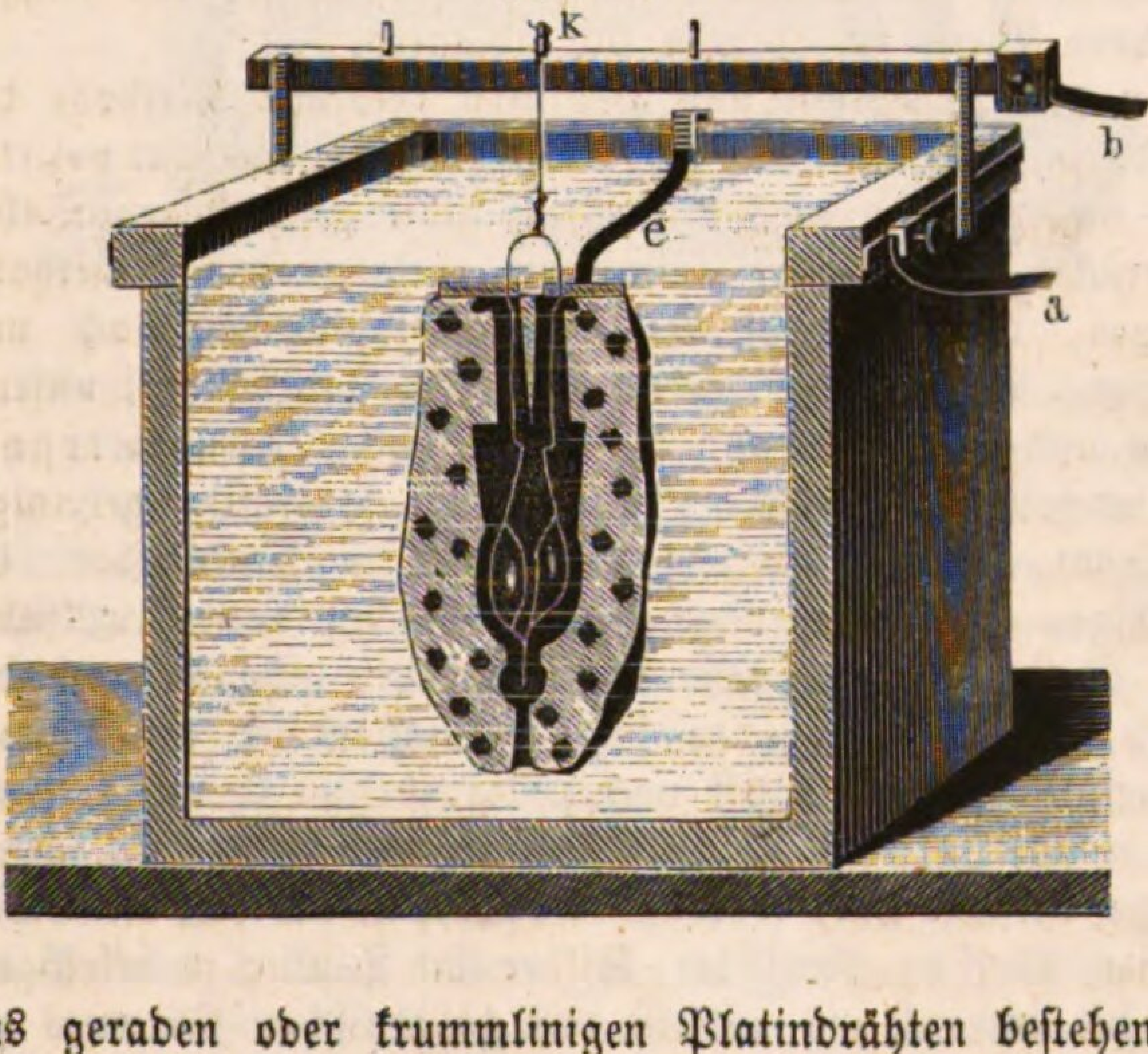
Galvanoplastische Matrizen von Gypsfiguren lassen sich dadurch erlangen, daß man zunächst die Oberfläche derselben mit Wachs tränkt, oder lackirt, dann mit Graphit überbürstet und auf derselben in einem geeigneten galvanoplastischen Apparate einen ziemlich dicken Kupferüberzug erzeugt. Um die kupferne Hülle von dem Gypskern zu nehmen, schneidet man beide mitten durch und nimmt den Gyps heraus, entweder ganz oder in Stücken. Die beiden Kupfertheile werden dann wieder zusammengesetzt, an ihrer Außenseite mit Wachs überzogen und durch umgewickeltes Band fest und sicher mit einander vereinigt, um als Matrize zu dienen.

Auch Gyps, Gutta-Percha, Leim, Stearin u. s. w. lassen sich auf diese Weise anwenden. Die beiden Hälften der Form müssen im Innern mit Graphit oder einem anderen leitenden Pulver überzogen werden.

Die Erzeugung eines galvanoplastischen Niederschlages in derartigen Hohlformen hat jedoch mancherlei Schwierigkeiten. Die Lösung, welche

unter dem Einfluß des Stromes Kupfer ablagern soll, muß, da sie sich fortwährend erschöpft, im Innern der Form frei circuliren können; man bringt deshalb oben und unten Löcher an, welche diese Circulation gestatten. Dennoch hat es Schwierigkeiten, einen überall gleichmäßig dicken Niederschlag zu erzeugen. Am vollkommensten ist dies von Lenoir erreicht worden. Derselbe stellt die Matrizen in 2 Hälften aus einem Gemisch von 10 Theilen Gutta-Percha, 4 Theilen Schweinefett und 3 Theilen Harz dar, welches dehnbarer und elastischer ist, als reine Gutta-Percha. Zuerst wird um die Hälfte der abzuformenden Statuette Gyps gegossen; nachdem derselbe fest geworden, bringt man hier und da in einiger Entfernung vom Original an demjenigen Theile der Gypsoberfläche, welche später mit der zweiten Formhälfte verbunden werden soll, Grübchen an. Hierauf wird die oben beschriebene auf beinahe 100⁰ C. erwärmte Formmasse auf die nicht mit Gyps überzogene Hälfte des Originals aufgetragen und diese durch bloßes Drücken mit der Hand abgeformt. Nachdem das Original so zur Hälfte mit Gyps und zur Hälfte mit Gutta-Percha überzogen und letztere erstarrt ist, zerbricht man den Gyps und nimmt ihn ab. Die jetzt entblößte Hälfte wird dann auf dieselbe Weise mit Gutta-Percha überzogen wie die andere. Nach dem Erkalten lassen sich die beiden Hälften leicht abnehmen und vermöge der Marken, welche auf der einen Formhälfte erhaben, auf der anderen vertieft sind, vollkommen passend vereinigen; vorher jedoch wird die innere Fläche derselben, wo der Kupferniederschlag entstehen soll, mit Graphit leitend gemacht. Der zur Darstellung des Kupferniederschlags in dieser Hohlform dienende galvanoplastische Apparat Fig. 264 besteht aus einem hölzernen, mit einem guten Firniß ausgestrichenen Kasten, welcher mit Kupfervitriollösung gefüllt ist. In diesem hängt die Hohlform, deren Graphitüberzug durch den Kupferstreifen e mit einem um den Rand des Kastens gelegten Metallstreifen, und durch a mit dem negativen Pol einer galvanischen Batterie verbunden ist. Im Innern der Form befindet sich ein leichtes Gerippe der Figur, aus geraden oder krummlinigen Platindrähten bestehend, welche annähernd deren Umrisse wiedergeben und in möglichst gleicher Entfernung von der Graphitschicht bleiben, ohne dieselbe jedoch zu berühren. Wo eine Berührung zu befürchten wäre, wird der Draht mit Wachs oder Gutta-Percha überzogen. Alle diese Drähte sind dann an dem oberen Ende zu einem Bündel vereinigt, welches bei K an einer metallenen Stange befestigt ist; letztere steht durch den Kupferstreifen b mit dem positiven Pole der Batterie in Verbin-

(Fig. 264.)



dung. Während sich auf dem Graphit eine sehr gleichmäßige Kupferschicht ablagert, entwickelt sich Sauerstoff in kleinen Bläschen an dem Platindraht und in der Flüssigkeit bleibt Schwefelsäure zurück. In der Form befinden sich oben und unten Oeffnungen, um während der Fällung des Metalles eine Circulation der Auflösung herzustellen. Da nämlich die Flüssigkeit innerhalb der Matrize durch die Ausscheidung des Kupfers spezifisch leichter wird, so steigt sie in die Höhe und läuft durch die obere Oeffnung aus; die untere Flüssigkeit steigt ebenfalls in die Höhe, um jene zu ersetzen. Diese Bewegung wird durch die Gasentwickelung am Platindraht noch befördert. Um die Lösung concentrirt zu erhalten, bringt man in das Bad außerhalb der Form Kupferoxyd, welches sich in der überschüssigen Schwefelsäure auflöst. — Lenoir hat nach dieser Methode kleinere Statuen bis zu 3 Fuß Höhe ausgeführt, deren Kupferniederschlag überall ganz gleichmäßig dick ist.

Ein anderes Verfahren, um auf galvanoplastischem Wege Hohlformen zu erzeugen, das sich aber nicht sowohl zur Vervielfältigung von Kunstwerken, als zur einmaligen Darstellung, etwa für monumentale Zwecke eignet, besteht darin, daß der Gegenstand zuerst aus Wachs, oder besser aus einem Gemisch von Wachs und Harz, modellirt wird; dies Modell wird durch Graphit leitend gemacht und auf seiner Oberfläche mittelst eines schwachen Stromes ein möglichst gleichmäßiger Kupferniederschlag erzeugt. Sobald dieser etwa Papierdicke erlangt hat, bringt man die Figur in heißes Wasser, wodurch das Wachs schmilzt und ausfließt. Die jetzt entstandene Hohlform wird nun im Innern sorgfältig vom Wachs gereinigt, indem man sie mehrmals abwechselnd mit Kalilauge und Alkohol, und zuletzt mit reinem Wasser ausspült. Um nun dieser zarten Form die nöthige Festigkeit zu geben, läßt man, nachdem die Außenseite mit Wachs überzogen worden ist, das Kupfer auf die vorherbeschriebene Weise im Innern sich ablagern. —

Galvanische Vergoldung.

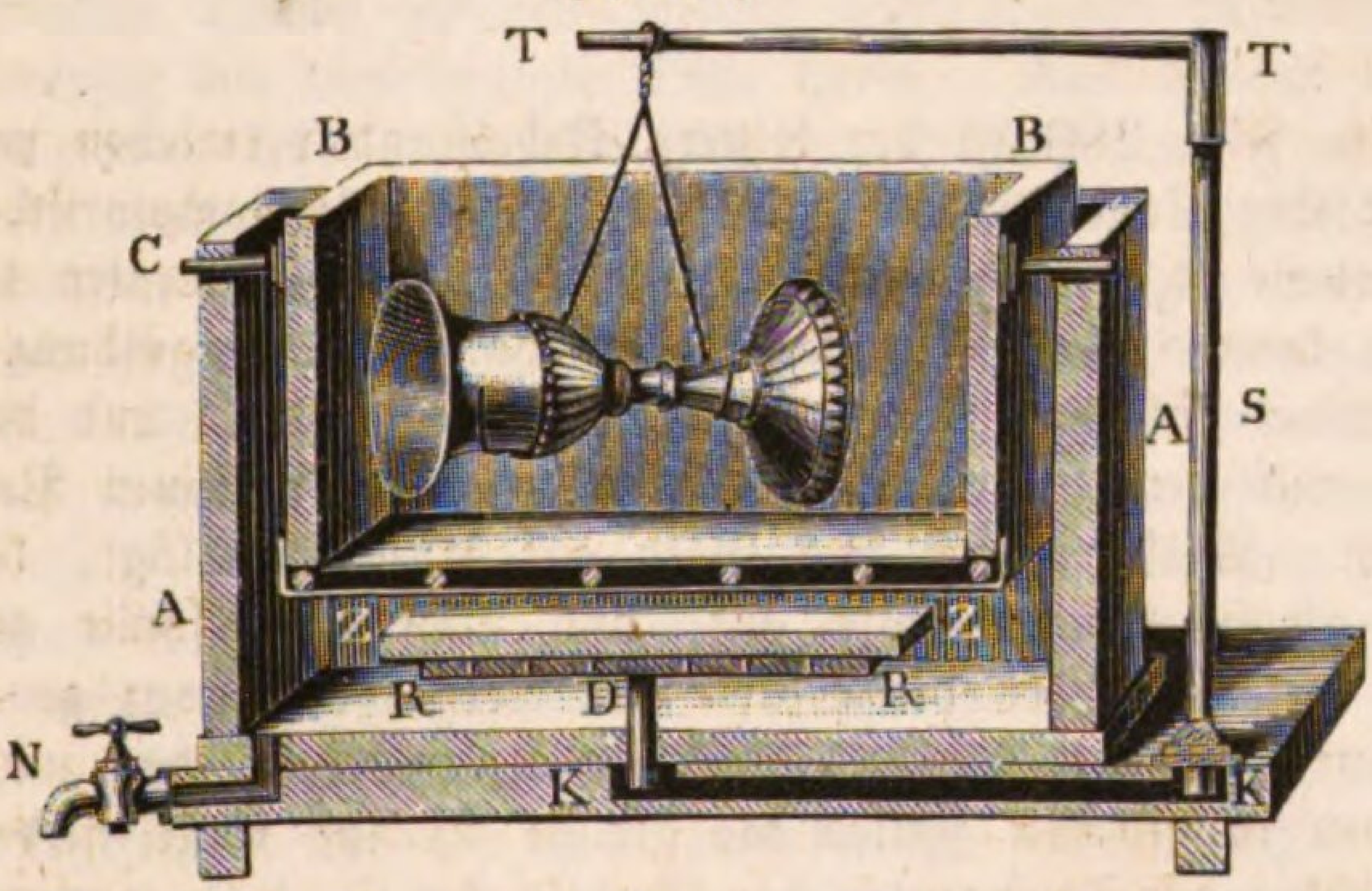
Die älteste, schon den Aegyptern und Hebräern bekannte Methode der **Vergoldung** bestand darin, daß man auf den blank geputzten und gut polirten Gegenstand Blattgold auflegte und dies mit einem glatt geschliffenen Polirstahl oder Achat aufdrückte und polirte. Um eine einigermaßen dauerhafte Vergoldung zu erlangen, mußten wohl 40 — 50 Goldblättchen nach und nach aufgetragen werden. Bei der wenigstens im ersten Jahrhundert unserer Zeitrechnung bekannten und noch hier und da angewandten Feuervergoldung wird der zu vergoldende metallene Gegenstand sorgfältig gereinigt, sodann mit Goldamalgam, einer Auflösung von Gold in Quecksilber, bestrichen und einer mäßigen Glühhitze ausgesetzt, wobei sich das Quecksilber verflüchtigt und das Gold in einer zusammenhängenden Schicht auf der Oberfläche zurückbleibt. Beide Methoden sind so umständlich als unvollkommen, und die Quecksilberdämpfe höchst nachtheilig für die Gesundheit der Arbeiter. Dagegen ist es mit Hülfe des galvanischen Stromes leicht, eine schöne, vollkommen gleichmäßige, beliebig dicke Goldschicht dauerhaft auf fast allen Metallen, namentlich Kupfer, Messing, Neusilber, Silber und Platin, zu befestigen.

Das Verdienst, die Vergoldung mittelst des galvanischen Stromes zuerst angeregt zu haben, gebührt de la Rive, welcher sein allerdings noch unvollkommenes Verfahren 1840 publicirte. Die von ihm angewandte Vergoldungsflüssigkeit, eine sehr verdünnte Auflösung von Gold in Königswasser (einem Gemenge von Salzsäure und Salpetersäure), lieferte eine Vergoldung von unschönem Ansehen und geringer Haltbarkeit. Weit bessere Resultate liefert die von Elkington angegebene Auflösung von Kaliumgoldcyanür,

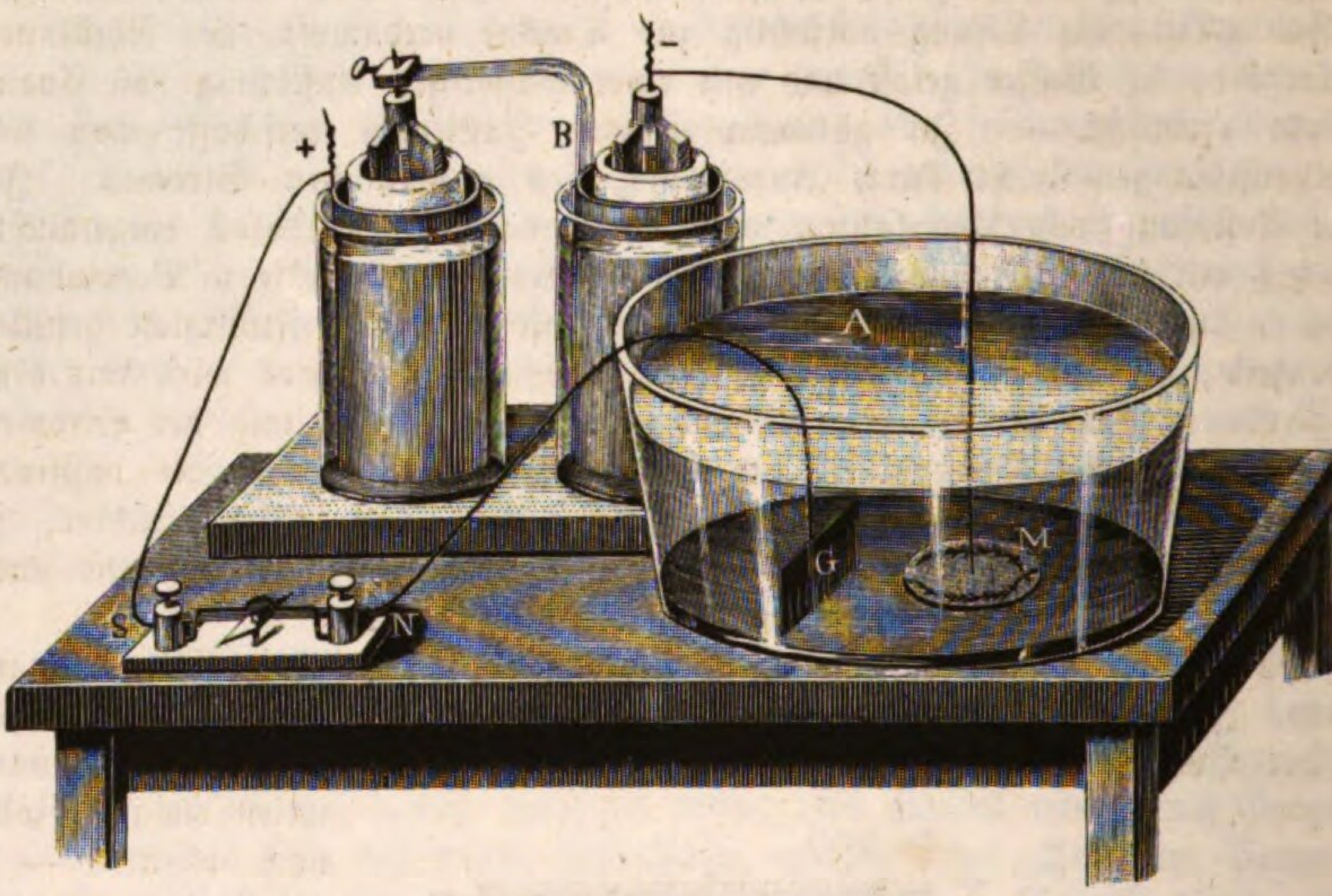
welche man sich auf folgende Weise verschaffen kann: Gold wird in Königswasser gelöst, die Lösung vorsichtig zur Trockne verdampft, der Rückstand, Chlorgold, in Wasser gelöst und mit einer wässerigen Auflösung von Cyankalium vermischt. — In galvanoplastischen Instituten verschafft man sich Goldauflösungen leicht durch Anwendung des galvanischen Stromes. In eine Auflösung von Cyankalium wird ein gewogenes Goldblech eingetaucht, welches mit dem positiven Pole einer galvanischen Batterie in Verbindung steht. Außerdem steht in der Lösung eine mit derselben Flüssigkeit gefüllte Thonzelle, in welcher sich ein Kupferblech befindet. Dieses wird mit dem negativen Pole der Batterie verbunden. Bei dieser Richtung des Stromes wird der negative Bestandtheil der Lösung, das Cyan, von der positiven Goldplatte angezogen und löst dieselbe auf, und zwar um so leichter, je wärmer die Flüssigkeit ist. Durch Abwägen der Goldplatte vor und nach dem Versuche erfährt man den Goldgehalt der Flüssigkeit.

Eine zweckmäßige Form des Vergoldungsapparates hat Elsner angegeben. In dem größeren gut gefirnißten Kasten von Eichenholz A A Fig. 265 ist der Boden durchbohrt und ein Kupferstab D so eingekittet, daß er nach unten etwa 1 Zoll, nach oben 1 — 2 Zoll hervorsteht. Derselbe trägt eine Art Rost R von Kupfer, auf welchem eine gegossene Zinkplatte Z Z liegt. Der Kupferstab D taucht mit seinem unteren Ende in einen gebohrten Canal K K, welcher mit Quecksilber gefüllt ist, und steht durch diesen in leitender Verbindung mit dem senkrecht aufsteigenden Kupferstabe S, welcher oben einen beweglichen horizontalen Arm T T trägt, um den zu vergoldenden Gegenstand daran zu hängen. Der innere Kasten B B ist zur Aufnahme der Goldlösung bestimmt; der Boden ist mit Pergament bespannt, welchem durch einen Rost von Holzleistchen und über diese gespannte Darmsaiten eine größere Festigkeit gegeben ist. — Beim Vergolden wird der äußere Kasten A mit einer gesättigten Kochsalzlösung oder mit sehr verdünnter Schwefelsäure, der innere Kasten B bis zum gleichen Niveau mit der Goldlösung gefüllt, und der sorgfältig gereinigte Gegenstand so eingehängt, daß er sich etwa $1/2$ Zoll von dem Boden des Kastens befindet, aber weder diesen, noch die Wände des Kastens berührt. Von Zeit zu Zeit muß derselbe herausgenommen und mit einer nassen Bürste, die in gepulverten Weinstein getaucht ist, abgebürstet werden. Es zeigt sich eine schöne und dauerhafte Vergoldung, welche glänzend oder matt ausfällt, je nachdem die vergoldete Fläche vor dem Einhängen polirt oder matt gebrannt war, und deren Dicke durch die Gewichtszunahme des Gegenstandes bestimmt werden kann. Die Vergoldungsflüssigkeit wird nach und nach vollständig erschöpft, wobei ein belästigender und schädlicher Geruch von Cyanwasserstoff oder Blausäure sich entwickelt.

(Fig. 265.)



(Fig. 266.)



In dem Apparate Fig. 266 ist der letztere Uebelstand vermieden und die Goldlösung behält ihre Concentration. Der Sitz der electromotorischen Kraft ist hier die Batterie B, welche durch Hinzufügen von Elementen beliebig verstärkt werden kann. Die Glasschale A enthält die Vergoldungsflüssigkeit; in ihr befindet sich der zu vergoldende Gegenstand M und das Goldblech G, ersterer mit dem negativen, letzteres mit dem positiven Pole der Batterie verbunden. Während sich das Gold auf M niederschlägt, löst sich von G genau die gleiche Menge Gold auf, und man kann somit aus der Gewichtsabnahme dieses Bleches die Stärke der Vergoldung ganz genau bestimmen. Es ist durch genaue Versuche nachgewiesen worden, daß unter sonst gleichen Umständen in gleichen Zeiten die gleiche Menge Gold niedergeschlagen wird. Je höher die Temperatur der Goldlösung ist, desto geringer ist die Anzahl der anzuwendenden Elemente. Ein kleiner Gegenstand kann mit zwei Daniell'schen Elementen in wenigen Minuten vergoldet werden, wenn man die Goldlösung auf 80—90° C. erwärmt.

Sollen einzelne Stellen des Gegenstandes vor der Ablagerung des Goldes geschützt werden, so überzieht man diese mit einem harzigen Deckgrund, der nach Elsners bewährter Vorschrift am besten aus einer Auflösung von 2 Theilen Asphalt und 1 Theil Mastix in der hinreichenden Menge Terpenthinöl besteht und mit einem feinen Pinsel warm aufgetragen wird. Nach geschehener Vergoldung läßt sich dieser Deckgrund mit Terpenthinöl und Alkohol leicht abwaschen.

Will man bloß das Innere eines Gefäßes, z. B. eines silbernen Kelches vergolden, so verbindet man einen um den Kelch geschlungenen Metalldraht mit dem negativen Pole einer Batterie, gießt in die zu vergoldende Höhlung die erwärmte Goldlösung und taucht in diese ein mit dem positiven Pole verbundenes Goldblech, das den Kelch nicht berühren darf. Um Gegenstände von Eisen oder Stahl zu vergolden, müssen dieselben vorher verkupfert werden, da das Gold nicht unmittelbar auf denselben haftet.

Die galvanische Vergoldung hat vor der Feuervergoldung so entschiedene

Vorzüge, daß die letztere bald völlig verdrängt sein wird; sie ist bequemer, weit billiger und gefährdet nicht die Gesundheit des Arbeiters. Fein gravirte Flächen können nicht im Feuer vergoldet werden, ohne daß die Gravirung verwischt wird, bei der galvanischen Vergoldung leidet auch die zarteste Gravirung nicht im mindesten. Da das goldhaltige Quecksilber vorzugsweise die Vertiefungen des zu vergoldenden Gegenstandes ausfüllt, so erhalten diese Stellen bei der Feuervergoldung den stärksten Goldüberzug; bei der galvanischen Vergoldung dagegen werden am stärksten die hervorragenden Stellen vergoldet, da diese eine geringere Entfernung von der positiven Polplatte haben. Es leuchtet ein, daß auch dieser Umstand zu Gunsten der galvanoplastischen Vergoldung spricht, da die Erhabenheiten vorzugsweise der Abnutzung ausgesetzt sind.

Die früheren Methoden der **Versilberung** waren ebenso schwierig und unvollkommen, wie die der Vergoldung. Früher wurden Silberblättchen aufgetragen und mit dem Polirstahl festgedrückt; später wandte man, um eine dauerhaftere Versilberung zu erlangen, plattirtes Kupferblech an, welches dadurch erzeugt wurde, daß man auf ein dickes Kupferblech ein dünnes Silberblech legte und beide dadurch vereinigte, daß man sie zusammen unter starkem Drucke zwischen polirten Stahlwalzen passiren ließ, bis der Silberüberzug die beabsichtigte Dicke hatte. Aus diesem Blech wurden dann die einzelnen Theile mittelst schwerer Stahlstempel (sogen. Stanzen) erzeugt und durch Löthung vereinigt. Die einfachsten Gegenstände mußten aus vielen Stücken zusammengesetzt werden; beim Stanzen sowohl, als beim Löthen, war die größte Vorsicht nöthig, um den Silberüberzug nicht zu beschädigen. Der Fabrikant mußte darauf halten, die vorhandenen Muster möglichst auszubeuten und ging schwer dazu über, neue Stempel anzuschaffen. Diese Fesseln sind durch die galvanoplastische Versilberung gebrochen und seit ihrer Entdeckung hat sich auf diesem Gebiete der bildenden Kunst eine früher nie gekannte Reichhaltigkeit der Formen entwickelt. Galvanische Versilberung.

Die Versilberungsflüssigkeit, Silbercyankalium, wird auf ähnliche Weise dargestellt, wie die eben beschriebene Goldlösung. Das Silber wird in Salpetersäure gelöst, wobei ein Ueberschuß der letzteren vermieden werden, also ein Rest Silber ungelöst bleiben muß. Zu der klaren Lösung setzt man Cyankalium, so lange noch ein weißer Niederschlag entsteht. Dieser Niederschlag wird durch Filtration von der Flüssigkeit getrennt und nachdem er gut ausgewaschen, in Cyankalium gelöst. Gewöhnlich wird aber die Silberlösung mit Hülfe der galvanischen Batterie auf dieselbe Weise dargestellt, welche wir bei der Vergoldung beschrieben haben.

Das Silber schlägt sich schwieriger nieder als das Gold, und nur mit Hülfe einer nicht zu schwachen Batterie, am besten auf Kupfer, Messing und Neusilber. Die daraus angefertigten Gegenstände müssen vollkommen rein sein und werden zu diesem Zwecke abwechselnd in Laugen und verdünnte Säuren eingetaucht. Das Anfassen mit der bloßen Hand muß wie bei der Vergoldung vermieden werden. Vor dem Einbringen in das Silberbad wird der mit verdünnter Salpetersäure geätzte Gegenstand kurze Zeit in eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul eingetaucht, wodurch sich die Oberfläche mit einer sehr dünnen Quecksilberschicht überzieht, welche das Anhaften des Silberniederschlages vermittelt. Derselbe fällt in der Regel matt aus; um ihn glänzend zu haben, läßt man ihn hinreichend stark werden und polirt dann. Merkwürdiger Weise bewirkt ein äußerst geringer Zusatz von Schwefel-

kohlenstoff die sofortige Entstehung einer glänzenden Versilberung, eine zufällig entdeckte Eigenschaft dieses Stoffes, die auch dem Chlorschwefel zukommen soll, welche aber bis jetzt noch nicht hat erklärt werden können.

Wenn abgenutzte versilberte Gegenstände mit einem neuen Silberüberzuge versehen werden sollen, so muß die frühere Versilberung vorher vollständig fortgeschafft werden; dies geschieht am besten durch die Batterie, indem man den gut gereinigten Gegenstand mit dem positiven Pole verbindet und in das Silberbad bringt, während als negative Polplatte ein Silberblech angewandt wird. Sobald sich die Versilberung aufgelöst hat, werden die Poldrähte gewechselt, ohne daß man den Gegenstand aus dem Bade nimmt.

Galvanische Verkupferung.

Obwohl die Abscheidung eines zusammenhängenden Kupfer-Ueberzuges aus dem Kupfervitriol ganz leicht gelingt, wenn die leitende Oberfläche aus einem solchen Körper besteht, welcher in Berührung mit Kupfer negativ electrisch wird, z B. Graphit, Gold, Silber u. s. w., so ist es doch unmöglich, mit der Lösung dieses Salzes einen fest anhaftenden, zuhammenhängenden Ueberzug auf Metallflächen zu erzeugen, welche aus einem unedleren Metalle, z. B. Zink, Eisen oder Stahl bestehen. Taucht man eine blanke Messerklinge nur einen Augenblick in Kupfervitriollösung, so färbt sie sich zwar sogleich roth, indem sich metallisches Kupfer niederschlägt; aber die Oberfläche des Messers wird angegriffen und die Klinge, wie man sich leicht überzeugen kann, nach und nach vollständig aufgelöst, indem für das abgeschiedene Kupfer eine entsprechende Menge Eisen eintritt*). Da die Haltbarkeit metallischer Ueberzüge wesentlich von der Reinheit der Fläche abhängt, auf welche dieselben niedergeschlagen werden, so ist nur eine solche Lösung brauchbar, welche diese Fläche nicht angreift. Der mittelst Kupfervitriol auf Stahl oder Eisen erzeugte Ueberzug ist bröcklig und läßt sich leicht abwischen.

Die besten Resultate hat man mit einer Lösung von Cyankupferkalium erhalten. Man stellt dieselbe am einfachsten dar, wenn man 2 Theile Kupfervitriol und 5 Theile Cyankalium, jedes für sich, in reinem Wasser löst und die Lösungen mischt. Zur Zersetzung dieser Flüssigkeiten ist eine noch weit stärkere electromotorische Kraft erforderlich, als zur Abscheidung des Silbers aus der entsprechenden Lösung. Es muß eine sehr starke Batterie angewandt und die Kupferlösung auf 80—90° erwärmt werden. Als positive Polplatte dient ein Kupferblech. Sobald sich in diesem Bade ein dünner Kupferüberzug gebildet hat, werden die Gegenstände herausgenommen und gereinigt; die Verstärkung des Ueberzuges kann nun leicht in einer Lösung von Kupfervitriol vorgenommen werden, da die anhaftende dünne Kupferschicht den Gegenstand vor dem Angriff schützt. Gewöhnlich aber bedient man sich des Cyankupferkaliums bloß für solche Gegenstände, welche nachher vergoldet oder versilbert werden sollen, z. B. chirurgische Instrumente. Um größere eiserne Gegenstände, z. B. Maschinentheile, mittelst einer hinreichend dicken Kupferschicht gegen Oxydation zu schützen, ersetzt man nach Tailfer die erste schützende Kupferschicht durch eine Bleischicht, welche denselben Zweck erfüllt, und mehrere wesentliche Vortheile bietet, so daß dies Verfahren bereits im Großen Anwendung gefunden hat. Zur Darstellung des Bleibades

*) Im Bergbau machte man hiervon schon längst vor der Entdeckung der Galvanoplastik Anwendung zur Gewinnung des sogenannten Cämentkupfers. Die Grubenwässer der Kupferminen enthalten häufig etwas Kupfervitriol aufgelöst. Legt man Eisenabfälle in solches „Cämentwasser", so schlägt sich das Kupfer metallisch nieder, und das Eisen löst sich auf.

wird Bleioxyd in Wasser aufgelöst, welches 10 Procent Aetzkali enthält. Aus dieser Auflösung, welche das Eisen durchaus nicht angreift, wird das Blei schon durch einen schwachen Strom niedergeschlagen und bildet eine zusammenhängende Schicht, auf welche sodann aus Kupfervitriol ein beliebig dicker Kupferüberzug niedergeschlagen werden kann. Das vorhergehende Verbleien ist weit billiger, als das Verkupfern mittelst Cyanlösung, sowohl wegen des geringeren Preises des Bleibades, als auch besonders wegen der schwächeren Batterie; auch fällt die bei den äußerst giftigen Cyanverbindungen stets vorhandene Gefahr für die Arbeiter weg.

Wild hat neuerdings ein Verfahren bekannt gemacht, um Kupfer oder Messing mit einem dauerhaften Platin-Ueberzuge zu versehen. Nach seiner Vorschrift erhitzt man ein Gemenge von 8 Theilen Salmiak und 1 Th. Platinsalmiak mit 30 bis 40 Th. Wasser zum Sieden und legt die zu verplatinirenden Gegenstände in diese Flüssigkeit; diese sollen in kurzer Zeit einen fest anhaftenden Platinüberzug erhalten. Platin.

Professor Böttger hat 1846 entdeckt, daß aus einer wässrigen Lösung von 1 Theil Salmiak und 2 Th. Eisenvitriol das Eisen mit Leichtigkeit durch den galvanischen Strom ausgeschieden werden kann. Es erscheint als ein silberweißer, glänzender Spiegel und haftet in dünnen Schichten vollkommen fest auf gut gereinigtem Kupfer oder Messing. Das auf solche Weise galvanisch niedergeschlagene Eisen besitzt ganz andere physikalische Eigenschaften, als das durch die gewöhnlichen Hüttenprozesse gewonnene, es ist hart wie Stahl und spröde wie Glas. Eine sehr wichtige Anwendung dieses Verfahrens werden wir später besprechen. Eisen.

Die übrigen Metalle, welche bis jetzt durch den galvanischen Strom aus ihren Lösungen haben niedergeschlagen werden können, übergehen wir hier, da dieselben kein besonderes Interesse bieten. Doch glauben wir die interessanten Beobachtungen erwähnen zu müssen, welche Gore bei der galvanischen Abscheidung des Antimons machte. Dieses Metall kann aus seiner salzsauren Lösung schon durch einen sehr schwachen Strom als eine zusammenhängende Masse erhalten werden, die dem polirten Stahl an Glanz nahe kommt. Ritzt man dies galvanisch gefällte Antimon mit einem harten Gegenstande, z. B. mit einer Feile, so zerspringt dasselbe unter Feuererscheinung und Explosion; die Stücke sind glühend*). Läßt man die negative Platte, an welcher sich das Antimon ablagert, nur zur Hälfte in die Flüssigkeit eintauchen, so scheidet sich das Metall nur an der Oberfläche des Bades aus und wächst in Gestalt eines Astes nach der positiven Polplatte hin, bis es dieselbe erreicht. Antimon.

Die **Anwendungen** der Galvanoplastik sind höchst mannichfaltig. Die vollkommen treue Nachbildung von seltenen Medaillen, Siegeln u. s. w. ist für die Kunst- und Alterthumsforscher von größter Wichtigkeit, da diese Copieen offenbar ein viel treueres Bild geben als die besten Abbildungen. Noch größere Vortheile verspricht die Anwendung zur Darstellung von Monumenten statt des Metallgusses, wie wir es oben (S. 399) beschrieben haben. Nach dem gewöhnlichen Verfahren arbeitet der Künstler von einer Statue, die er in Metallguß darstellen will, zuerst ein Modell aus Thon, nimmt darüber eine Hohlform aus Gyps und mittelst der letzteren wiederum Anwendungen der Galvanoplastik. Monumente.

*) Bei genauerer Untersuchung hat sich gezeigt, daß der abgeschiedene Körper nicht reines Antimon ist, sondern Antimonwasserstoff enthält, und daß diesem Stoffe die Explosion zuzuschreiben ist.

aus Gyps ein zweites Modell, welches nach einer nochmaligen sorgfältigen Ueberarbeitung zur Darstellung der Hohlform aus Formsand dient, in welche das geschmolzene Metall eingegossen werden soll. Allein das Metall füllt die Sandform nur unvollkommen aus; die Statue muß zu ihrer Vollendung ciselirt, d. h. mehrfach überarbeitet und ausgebessert werden, bis eine ganz neue Oberfläche entstanden ist. Die Herstellung der Sandform setzt viele schwierige und mühsame Arbeiten voraus; das Gießen erfordert eine sehr große Metallmasse, einen Schmelzofen, Brennmaterial und ist eine beschwerliche, nicht gefahrlose Arbeit, welche leicht mißlingen kann, und besonders das Ciseliren nimmt stets viel Zeit in Anspruch und erheischt eine große Geschicklichkeit. Viel leichter und einfacher ist das oben beschriebene galvanoplastische Verfahren; die feinste Ueberarbeitung kann bereits an dem Wachsmodell vorgenommen werden; die galvanoplastische Nachbildung ist vollkommen getreu und sie erfordert bei weitem weniger Material, da man der hohlen Figur eine ganz beliebige Wandstärke geben oder auch dieselbe mit einem leichter flüssigen Metall, z. B. Zink, nachträglich ausfüllen kann, ohne daß sich dabei die Kupferhülle verändert. Es ist daher mit Sicherheit vorauszusehen, daß die Anwendung der Galvanoplastik zu monumentalen Zwecken den Metallguß verdrängen wird.

Bijouterieen, Ornamente 2c.

In der galvanoplastischen Anstalt von Ch. Christofle zu Paris werden massive Kunstgegenstände von ausgezeichneter Schönheit und Feinheit fabrikmäßig dargestellt, indem man von den fein ciselirten und gravirten Modellen Gutta-Percha-Abdrücke nimmt, in diesen eine dünne Kupferschicht galvanisch niederschlägt, die Vertiefungen derselben auf der Rückseite mit Messing ausfüllt, die verschiedenen das Ganze bildenden Theile durch Hartloth vereinigt, und das Ganze galvanisch vergoldet oder versilbert. Es werden dabei die sehr kostspieligen stählernen Matrizen, welche in Bezug auf die Vollkommenheit der Arbeit immer viel zu wünschen übrig lassen, umgangen. Von drei Arbeitern werden dort mit geringen Kosten prächtige Tafelaufsätze mit der reichsten Ornamentirung ausgeführt, welche außerdem die Arbeit eines Formers, eines Gießers, eines Gold- oder Silberschmieds, eines Planirers, eines Ciseleurs und eines Graveurs erfordert haben würden. Dabei geben diese massiven und sehr dauerhaften Gegenstände das Modell weit genauer wieder, als die künstlerische Hand des geschicktesten Ciseleurs und Graveurs dies nur entfernt im Stande wäre.

Die schönsten Nachbildungen der Natur lassen sich dadurch erhalten, daß man Pflanzen, Blätter, Blumen, Früchte, Insekten, kleine Vögel u. s. w. zuerst mit einer Graphitschicht und dann mit einem dünnen Kupferüberzuge versieht, welcher dann beliebig vergoldet oder versilbert werden kann.

Von großer Bedeutung ist die galvanoplastische Vervielfältigung von Maaßstäben, getheilten Kreisen und derartigen mathematischen Instrumenten, deren Eintheilung große Sorgfalt und viel Zeit erfordert.

Um Glasgefäße zu chemischen Zwecken, z. B. Kochfläschchen, Retorten, Kolben und dergl. über freiem Feuer zu erhitzen, ist es gut, dieselben an der Unterseite mit Kupfer zu überziehen. Sie werden mit Flußsäure matt geätzt, mit Graphit überstrichen und dann galvanoplastisch verkupfert.

Druckplatten.

Die größte Wichtigkeit hat aber die Galvanoplastik für die Darstellung von Druckplatten aller Art. Nach dem gewöhnlichen Verfahren werden die Matrizen zum Guß der Buchdruckerlettern dadurch hergestellt, daß man die Typen in Stahlstempel schneidet, diese in Kupfer einschlägt und in

letztere das Schriftmetall eingießt; solche kupferne Matrizen lassen sich aber sehr leicht ohne den kostbaren Stahlstempel erzeugen, indem man über die Bleitypen galvanische Kupfermatrizen bildet.

Stereotypplatten von weit größerer Haltbarkeit und Schärfe als nach dem bisherigen Verfahren stellt man dadurch her, daß man die ganze zu copirende Schriftseite in Gutta-Percha abdrückt, die dadurch erhaltene Matrize, nachdem sie durch Graphit leitend gemacht wurde, mit einem galvanischen Kupferüberzuge versieht und denselben dann durch Ausgießen mit Schriftmetall verstärkt.

Man zieht es jetzt allgemein vor, die für den Kupferstich bestimmten Platten galvanoplastisch darzustellen, anstatt mittelst des Walzwerkes, da letztere sehr oft fehlerhafte Stellen haben, welche erst während der Bearbeitung zum Vorschein kommen und dann die ganze Arbeit des Künstlers vergeblich machen. Die galvanoplastisch niedergeschlagenen Kupferplatten dagegen sind vollkommen gleichartig und stehen bei richtiger Leitung des Prozesses den gewalzten an Härte durchaus nicht nach. Auch erfordern sie zur Darstellung, trotz der Langsamkeit des galvanischen Prozesses, nicht mehr Zeit und weit weniger Arbeit als die gewalzten Platten, da die Politur derselben erspart wird. Von ganz besonderer Wichtigkeit aber ist die Vervielfältigung von bereits gestochenen Platten. Bekanntlich leiden die Kupferplatten durch den Druck; daher der hohe Preis der ersten Abdrücke avant la lettre. Durch die Galvanoplastik ist man in den Stand gesetzt, die Originalplatte beliebig oft mit vollkommener Schärfe zu copiren und diese Copieen zum Drucke zu verwenden, also eine unbegrenzte Anzahl vollkommen scharfer Abdrücke zu liefern, ohne daß das Original abgenutzt wird. Es wird nämlich von dem gestochenen Original der Kupferplatte, nachdem sie vorher mit einer ganz dünnen Silberschicht überzogen wurde, ein galvanischer Niederschlag gebildet, diese so erhaltene kupferne Matrize wird wieder versilbert und darauf dann eine neue, der gestochenen Original-Kupferplatte ganz getreu nachgebildete und zum Abdruck taugliche galvanische Kupferdruckplatte hergestellt. Auch Correcturen auf Kupferplatten, wie sie z. B. beim Landkartendruck häufig vorkommen, und früher mit großen Kosten verknüpft waren, lassen sich auf galvanoplastischem Wege leicht herstellen. Nach George überzieht man die Platte mit Wachs, läßt nur die gut gereinigte und mit einem Grabstichel blank geschabte fehlerhafte Stelle frei und umgiebt letztere mit einem hohen Rande von Wachs. In das dadurch entstehende kleine Gefäß gießt man Kupfervitriol und stellt eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte kleine Thonzelle hinein, in welcher ein Stückchen Zink sich befindet. Wird dieses durch einen Kupferdraht mit der Platte verbunden, so lagert sich auf der zu corrigirenden Stelle Kupfer ab und füllt die darauf vorhandene Gravirung aus. Wenn der Ueberzug dick genug ist, wird die Platte gereinigt, die mit Kupfer überzogene Stelle abgeschliffen, polirt und auf's Neue gravirt.

Kupferstichplatten.

Um die Abnutzung der Kupferdruckplatten durch den sehr bedeutenden Druck zu verhüten, werden dieselben nach Jacquin mit einem sehr feinen galvanoplastischen Eisenüberzuge nach Böttger's Methode versehen. Die Originalplatte oder auch eine galvanoplastische Copie derselben wird zuerst mit Sodalösung und dann mit verdünnter Schwefelsäure sorgfältig gereinigt und in der Böttger'schen Eisenlösung (s. S. 405) mittelst eines einzigen Daniell'schen Elementes mit einer sehr dünnen, fest haftenden, außerordentlich harten Eisenschicht überzogen und dadurch befähigt, zu einer fast unbegrenzten Anzahl von gleich guten Abdrücken benutzt zu werden. Da sich beim Drucken die

überschüssige Schwärze weit leichter von dem blanken Eisen abwischen läßt, als vom Kupfer, so lassen sich mit diesen „verstählten" Kupferplatten in derselben Zeit doppelt so viel Abzüge machen.

Galvanographie. Die von dem Professor F. von Kobell in München erfundene Galvanographie ist eine Methode zur galvanoplastischen Erzeugung von Druckplatten über Zeichnungen in Tuschmanier. Veranlassung zu dieser Erfindung war die Beobachtung, daß der galvanische Kupferniederschlag über die Grenzen der leitenden Fläche hinaus sich auch auf nichtleitende Flächen fortsetzt und dieselben eben so getreu copirt. Der Künstler führt seine Zeichnung auf einer versilberten Kupferplatte mit dem Pinsel aus, indem er ein mit Firniß angeriebenes feines Pulver, z. B. Eisenroth, aufträgt. Das Malen geschieht in der Art, daß die blanken Stellen des Metalls die höchsten Lichter, die mehr oder weniger gedeckten die Schatten liefern. Bringt man die Platte, nachdem dieselbe vollkommen getrocknet ist, in den galvanischen Apparat, so lagert sich das Kupfer zuerst auf der Metallfläche ab, wächst aber sehr bald auch über die mit nicht leitender Farbe bedeckten rauhen Stellen hinweg und gibt dieselben auf's Vollkommenste wieder. Bleiben, wie es mitunter geschieht, einzelne Stellen auch nach längerer Zeit noch unbedeckt, so bestreicht man dieselben mittelst eines Pinsels nachträglich noch mit Graphit, worauf sie sich sehr bald mit Kupfer überziehen. Ist die Kupferplatte dick genug, so wird sie aus dem Apparate genommen, von der Originalzeichnung getrennt, mit Baumwolle und Schwefeläther gereinigt und mit Wiener Kalk oder einem derartigen Polirmittel geputzt. In der Druckerpresse wird sie wie eine geätzte Platte behandelt. Die aufgetragene Schwärze haftet in den vertieften und rauhen Schattenstellen der Zeichnung, während sie sich an der blanken Metallfläche, welche den Lichtern entspricht, abwischen läßt. Wird also gegen die eingeschwärzte Kupferplatte durch eine geeignete Presse ein Papier angedrückt, so nimmt dies die Schwärze an und gibt ein Bild, welches den Eindruck einer getuschten Zeichnung macht. Einige Münchener Künstler, besonders Hanfstängl und Schöninger, haben ausgezeichnete Bilder galvanographisch ausgeführt und durch den Druck veröffentlicht. Die Galvanographie hat vor dem gewöhnlichen Kupferstich den großen Vorzug, daß die Zeichnung oder Schrift nicht umgekehrt gezeichnet zu werden braucht. Auch verliert die Originalzeichnung durch die Uebertragung Nichts von ihrem Charakter, wie dies bei gewöhnlichen Kupferstichen mehr oder weniger der Fall ist.

Galvanische Aetzung. Auch die Darstellung geätzter Druckplatten geschieht am besten auf galvanischem Wege. Nach dem gewöhnlichen Verfahren führt der Künstler die Zeichnung auf einer gefirnißten Kupfer- oder Stahlplatte aus, indem er mit einer Radirnadel das Metall bloß legt. Hierauf wird die Platte mit verdünnter Salpetersäure übergossen, welche das Metall an den entblößten Stellen auflöst und dadurch Vertiefungen erzeugt, in denen nach Entfernung des Lacks die Druckerschwärze haftet. Viel bequemer ist es, und weit bessere Resultate werden erlangt, wenn man die radirte Platte als positive Polplatte in den galvanischen Apparat legt. Die Auflösung erfolgt ganz gleichmäßig und ohne Entwickelung von salpetrigen Dämpfen; die radirten Stellen werden dabei niemals, wie beim Behandeln mit Säuren, unterfressen; die Aetzung kann nach Belieben an einzelnen Stellen der Platte durch Annäherung der negativen Polplatte verstärkt werden.

Electrographie. Devincenzi hat mit dem Namen Electrographie ein von ihm erfundenes Verfahren benannt, um erhaben geätzte Zinkplatten für die Buch-

druckerpresse zu erhalten und durch dieses weit leichtere Verfahren den Holzschnitt zu ersetzen. Auf eine vorher gekörnte, d. h. rauh gemachte Zinkplatte wird die Zeichnung mittelst fettiger lithographischer Kreide oder Tinte aufgetragen, hierauf die Zinkplatte mit Gummiwasser befeuchtet, welches auf der fettigen Zeichnung nicht haftet und letztere durch Terpenthinöl abgewaschen, wie dies beim Präpariren des lithographischen Steines geschieht. Wenn das Gummi durch Wasser entfernt ist, trägt man mit einer Walze einen fettigen Firniß auf, welcher bloß auf der Zeichnung haftet. Nachdem derselbe vollkommen getrocknet ist, bringt man die Zinkplatte in eine Kupfervitriollösung, stellt derselben in geringer Entfernung eine gleichgroße Kupferplatte gegenüber und verbindet beide durch einen Kupferdraht. Die Zinkplatte wird durch den electrochemischen Proceß an den nicht mit Firniß überzogenen Stellen angegriffen, während die gefirnißten Stellen ganz unversehrt bleiben. Nach wenigen Minuten ist das Relief so weit gediehen, daß davon eine große Anzahl von Abdrücken in der Buchdruckerpresse gemacht werden kann, da das Zink härter ist als die Letternmasse. Für Holzschnitte ist ein Zeichner und ein Graveur erforderlich, für die Zinkstiche braucht man nur einen Zeichner.

Natur-selbstdruck.

Eine der schönsten Anwendungen der Galvanoplastik ist der sogenannte Naturselbstdruck, durch welchen die verschiedenartigsten Gegenstände der Natur bis in das feinste mikroskopische Detail mit größter Naturwahrheit und Treue wiedergegeben werden. Das Verfahren ist folgendes: Um von einem Pflanzenblatt, einer Blüthe oder einem anderen Pflanzentheile einen Abdruck zu erzeugen, wird dieser Gegenstand zunächst zwischen Fließpapier gepreßt und getrocknet. Nachdem dies geschehen, wird derselbe sorgfältig vom Papier abgezogen und eine Viertelstunde in Wasser gelegt, dann wieder auf die vorige Weise getrocknet und dieses Verfahren vier bis fünfmal wiederholt. Dadurch verlieren die Pflanzen alle löslichen Theile, und ihre Fasern gewinnen an Zähigkeit. Insecten können auf ähnliche Weise getrocknet und geebnet werden; Spitzen, Seidenzeuge u. dergl. bedürfen keiner weiteren Vorbereitung. Die geebneten und getrockneten Gegenstände werden dann auf eine glatte Bleiplatte gelegt, mit einer polirten Stahlplatte bedeckt und beide unter starkem Druck zwischen zwei Walzen durchgezogen. Dabei bildet sich auf der Bleiplatte ein vollkommen getreuer, vertiefter Abdruck. Dieser wird nun entweder galvanoplastisch oder auch durch Gutta-Percha copirt und von dieser Copie eine galvanoplastische Druckform erzeugt, welche die Vertiefungen der Bleiplatte als Vertiefungen wiedergibt und wegen ihres festeren Materials sich zum Druck eignet. Aus der Staatsdruckerei in Wien, deren Vorsteher, Regierungsrath Auer, diesen neuen und sehr wichtigen Zweig der Typographie vorzugsweise ausgebildet hat, sind ausgezeichnete Kunstwerke des Naturselbstdruckes hervorgegangen, welche für die beschreibende Naturwissenschaft von unschätzbarem Werthe sind und zu den schönsten Erwartungen berechtigen. Das vergleichende Studium der Nervation der Pflanzenblätter, welche für die Systematik der fossilen Pflanzenreste von besonderer Wichtigkeit ist, wurde erst durch den Naturselbstdruck möglich. Wir sahen Abdrücke von allerlei Pflanzentheilen und ganzen Pflanzen, besonders Moosen, Algen, Flechten und anderen Kryptogamen; von zarten Insecten, von Schlangenhäuten, Fischschuppen, von den Häuten kleiner Säugethiere, z. B. Fledermäuse, von fossilen Fischen u. s. w., welche zum Theil mit den natürlichen Farben gedruckt waren und nicht allein durch ihre Schönheit, sondern auch namentlich durch die Feinheit der Ausprägung, welche besonders beim Betrachten mit der Loupe hervortrat, einen überraschenden Eindruck machten.

Es ist gelungen, von Daguerreotypplatten (Lichtbildern auf Silber) galvanoplastische Copieen und sogar mittelst Aetzung Druckplatten zu erzeugen, die in einzelnen Fällen wohl gelungen sind.

Ein näheres Eingehen auf diese und noch manche andere, theils gelungene, theils in Aussicht gestellte Anwendungen der Galvanoplastik würde zu weit führen, da eine erschöpfende Darstellung außerhalb unseres Zweckes liegt.

Daguerreotypie und Photographie.

Einleitung.

Die Geschichte der Erfindungen zeigt eine große Verschiedenheit. Manche Entdeckungen wurden dem Menschengeschlechte wie ein unverhofftes Geschenk des Schicksals entgegengebracht; es bedurfte nur der Aufmerksamkeit und Umsicht des Beobachters, um die ihm entgegentretende Thatsache richtig zu verstehen und zu würdigen, und eine unabsehbare Reihe der nützlichsten Anwendungen eröffnete sich dem staunenden Blicke. Andere Erfindungen dagegen sind das Ergebniß jahrelanger, mühevoller Versuche. Es galt, das gestellte Problem mit angestrengtem Fleiß und unermüdlicher Ausdauer zu verfolgen, die sich entgegenstellenden Hindernisse zu beseitigen, und das Schritt für Schritt eroberte Terrain nach allen Seiten zu durchforschen und nach dem unverrückt vorschwebenden Ziele hin zu erweitern, ehe die errungenen Erfolge die aufgewandte Mühe belohnten. Zu den letzteren Erfindungen gehört unstreitig die Photographie, deren erste Anfänge bis zum Anfange des jetzigen Jahrhunderts zurückreichen *). Wedgwood machte bereits 1803 die ersten Versuche, die chemischen Wirkungen des Lichtes direct zur Darstellung von Bildern, besonders zur Fixirung der schönen Bilder der Camera obscura und des Sonnenmikroskops zu benutzen. Seitdem hat eine Anzahl der tüchtigsten Physiker unausgesetzt und mit großer Vorliebe an der Lösung dieser Aufgabe gearbeitet, bis es den vereinten Anstrengungen des jüngeren Niepce und Daguerre's gelang, eine leichte Methode aufzufinden, durch welche jene Bilder in künstlerischer Vollendung leicht und rasch auf blanken Silberplatten dargestellt werden konnten. Die Schönheit und Treue dieser zierlichen Bilder erregte mit Recht das größte Aufsehen, und das Interesse dafür ist fortwährend gestiegen. Die Société d'Encouragement hat durch Aussetzung von ansehnlichen Preisen um die Förderung der neuen Kunst sich bedeutende Verdienste erworben. Physiker und Techniker haben an der Vervollkommnung und Ausbildung der Photographie mit großem Eifer gearbeitet; sie ist ein

---

*) Das Wort **Photographie** bedeutet nicht bloß jedes direct durch das Licht dargestellte Bild (Lichtbild), sondern auch das Verfahren zur Darstellung eines solchen Bildes (Lichtmalerei). Gewöhnlich wird dieser Ausdruck aber in einem etwas engeren Sinne gebraucht, indem man die Lichtbilder auf Silberplatten, welche nach ihrem Erfinder **Daguerreotypen** genannt werden, ausschließt, und demnach unter Photographieen nur diejenigen Lichtbilder versteht, welche auf einer anderen Grundlage (z. B. Papier, Eiweiß, Stärke, Leim, Collodium, Firniß u. s. w.) erzeugt sind. Dieser Sprachgebrauch ist jedoch nicht richtig, denn ein Daguerreotyp, d. h. ein nach Daguerre's Methode erzeugtes Bild ist ja auch ein Lichtbild, also die Daguerreotypie nur eine besondere Art der Photographie.

neuer Erwerbszweig geworden; jede Stadt von einiger Bedeutung hat ihre photographischen Ateliers; es gibt photographische Lehranstalten und Zeitschriften; jede Woche bringt neue Methoden und Verbesserungsvorschläge.

So einfach nun auch an sich die Manipulationen zur Darstellung eines Lichtbildes sind, so groß die Zahl der Physiker, Maler und Dilettanten ist, welche sich mit der Photographie beschäftigen, so unklar sind im Allgemeinen die Vorstellungen über die Natur der dabei vorkommenden physikalischen und chemischen Prozesse, von denen die Entstehung des Bildes abhängt; so schwierig ist auch für die Wissenschaft die theoretische Erforschung dieser Vorgänge, eben wegen der Empfindlichkeit und Unnahbarkeit der Platte.

Bevor wir die heutige Photographie näher in's Auge fassen, halten wir es daher für nöthig, unseren Lesern einige der wichtigsten chemischen Wirkungen des Lichtes vorzuführen; wir wollen versuchen, dieselben, so weit ihr Wesen erforscht ist, im Anschluß an die im physikalischen Abschnitte dieses Werkes durchgeführte Vibrationstheorie des Lichtes (S. 86) zu erklären, und das Verhältniß zwischen den optischen und chemischen Bildern der Camera obscura festzustellen. Wir hoffen, daß sich daraus das Verständniß der wichtigsten Vorgänge der Photographie ergeben werde.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

Manche Veränderungen, welche von dem chemischen Einflusse des Lichtes herrühren, sind allgemein bekannt. Wir erinnern unsere Leser an das Bleichen der Leinwand im Sonnenlichte, an das Erbleichen mancher Kleiderstoffe, deren hervorragende Stellen mattere Farben bekommen, während in den vom Lichte weniger getroffenen Falten die Farbe länger ihre Frische behält; an die Farbenveränderungen, welche sich im Laufe der Zeit an den Wänden und Möbeln unserer Zimmer beobachten lassen, wenn dieselben an einigen Stellen vorherrschend beleuchtet, an anderen im Schatten waren. Besonders von Eichen- und Mahagoni-Holz ist es bekannt, daß dasselbe im Lichte sich dunkler färbt. Jedermann weiß, daß unsere eigene Hautfarbe unter dem Einfluß des directen Sonnenlichtes sich bräunt. Die meisten organischen Stoffe werden im Lichte heller; manche, namentlich die Fette, bekommen eine dunklere Farbe, wenn das Licht sie nicht bestrahlt. So werden Stearinkerzen gelb, wenn sie lange Zeit im Dunkeln liegen; ein weißer Oelanstrich wird im Dunkeln bräunlich gelb; aus demselben Grunde vergilbt die Wäsche im dunkeln Schranke, sofern sie nämlich noch eine Spur Seife enthält. Es ist bekannt, daß das Licht zum Leben der höheren Pflanzen unumgänglich nothwendig ist; gewisse chemische Prozesse des Pflanzenlebens, die Aufnahme von Kohlensäure, die Zerlegung derselben und die Ausscheidung des Sauerstoffs finden ohne die Mitwirkung des Lichtes nicht Statt; Pflanzen, denen man das Licht entzieht, bilden kein Blattgrün, bekommen eine gelblich weiße Farbe, werden krank und sterben ab.

Diese chemischen Prozesse, welche das Licht in organischen Körpern hervorruft, sind meist sehr verwickelt. Doch ist es wahrscheinlich, daß sowohl das Erbleichen der meisten Pflanzenfarben, als auch das Nachdunkeln der Hölzer auf einer Oxydation (Sauerstoff-Aufnahme) beruht. Diese Hölzer enthalten nämlich eigenthümliche organische Säuren, die unter dem Namen der Gerbsäuren bekannt sind und durchgängig ein großes Bestreben zeigen, mehr Sauerstoff aufzunehmen und damit neue Stoffe zu bilden, die sich durch ihre dunkle, braunschwarze Farbe charakterisiren.

Besser, als bei diesen sehr complicirten und veränderlichen organischen Stoffen, lassen sich die durch das Licht bewirkten chemischen Veränderungen

an den weit einfacheren unorganischen Verbindungen erkennen. Manche chemische Verbindungen zerfallen durch das Licht in ihre Bestandtheile; so z. B. manche Oxyde und Salze der edlen Metalle. Goldoxyd wird durch das Licht in Sauerstoff und metallisches Gold zerlegt; die meisten Silber- und Quecksilberverbindungen schwärzen sich aus demselben Grunde. Braunes Bleihyperoxyd wird, indem ein Theil seines Sauerstoffes ausscheidet, zu Mennige; rauchende Salpetersäure verliert am Lichte gleichfalls einen Theil ihres Sauerstoffes und verwandelt sich dadurch theilweise in Untersalpetersäure, wobei ihre vorher gelbe Farbe in Rothbraun übergeht; Chlorsilber wird durch die Einwirkung des Lichtes rasch geschwärzt, indem es einen Theil seines Chlors verliert; die gelbe Eisenchloridlösung wird durch Chlorverlust zu fast farblosem Eisenchlorür u. s. w. Um diese chemischen Scheidungen zu erklären, erinnern wir daran, daß das Licht aus Schwingungen besteht, daß also an der Oberfläche eines beleuchteten Körpers durch die auftreffenden Lichtschwingungen eine Aufeinanderfolge äußerst feiner Erschütterungen erregt werden muß, durch welche der chemische Zusammenhang der Atome gelockert werden kann, sofern zwischen denselben eine geringe Anziehungskraft (chemische Verwandtschaft) Statt findet. Sehen wir doch, daß ein Gebäude durch fortwährende, wenn auch, einzeln betrachtet, unbedeutende mechanische Erschütterungen zum Einsturz gebracht wird. In der That stimmen alle genannten Substanzen darin überein, daß zwischen ihren Bestandtheilen eine geringe chemische Affinität vorhanden ist.

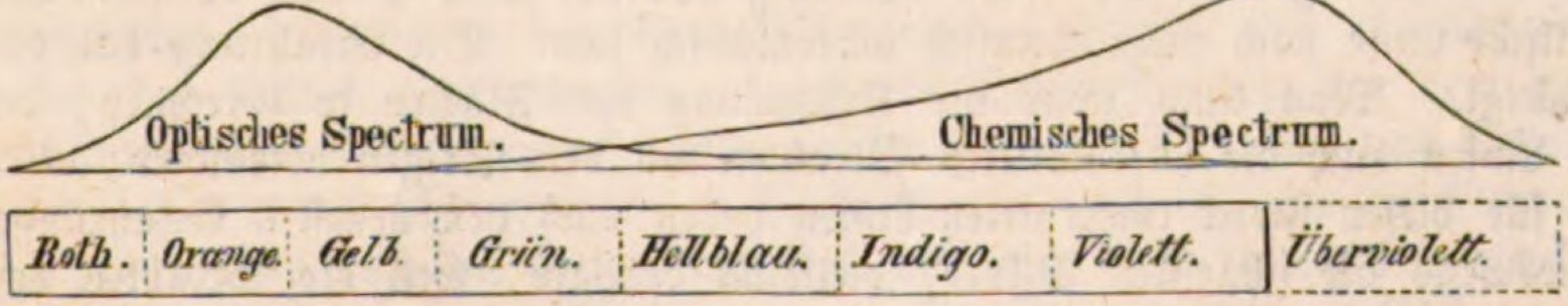
Auffallend ist es, daß das Licht auf andere Stoffe ganz entgegengesetzte Wirkungen ausübt. Wir sehen, daß unter seinem Einflusse manche Mischungen sich in chemischen Verbindungen verwandeln, sofern die nebeneinander liegenden Stoffe eine große chemische Verwandtschaft besitzen. Mengt man z. B. gleiche Raumtheile Chlorgas und Wasserstoffgas im Dunkeln in einer Glasglocke, so bleiben dieselben ein bloßes Gemenge, so lange sie vor dem Lichte geschützt bleiben; setzt man dies Gemenge dem zerstreuten, d. h. unregelmäßig reflektirten Tageslichte aus, so bemerkt man, daß allmählig sowohl die gelblich grüne Farbe, als auch der penetrante Geruch des Chlorgases verschwindet, es entsteht eine chemische Verbindung beider Stoffe, Chlorwasserstoff, ein farbloses Gas, das einen ganz anderen, nicht unangenehmen Geruch hat. Im directen Sonnenlichte geht diese Verbindung so rasch und stürmisch vor sich, daß das Gas mit heftiger Explosion die Glasglocke zertrümmert. Das Chlor kann unter Mitwirkung des Lichtes das Wasser in seine Bestandtheile zerlegen: es verbindet sich mit dem Wasserstoff zu Chlorwasserstoffsäure und der Sauerstoff des Wassers wird abgeschieden. Im Dunkeln findet diese Zersetzung nicht Statt, und daher erhält man das Chlorwasser (Chlorgas in Wasser gelöst) aus den Apotheken in schwarzen, undurchsichtigen Glasfläschchen zugeschickt.

Diesen und viele ähnliche Vorgänge, z. B. die am Lichte Statt findenden Oxydationen organischer Substanzen, kann man sich erklären, wenn man annimmt, daß die Atome der unverbunden nebeneinander liegenden Stoffe vermöge der Schwingungen des Lichtes so gegeneinander bewegt, einander so nahe gebracht werden, daß nun die, nur in größter Nähe wirksame, chemische Anziehung in Kraft tritt. Kleine mechanische Erschütterungen können eine analoge Wirkung ausüben: wir sehen, daß ein lockeres Pulver durch eine Reihenfolge kleiner Stöße sich dichter zusammensetzt, daß also die mechanische Verbindung der einzelnen Körnchen inniger, fester, die Consistenz des Ganzen

größer wird. Wir müssen betreffs dieser Vorgänge auf den chemischen Abschnitt dieses Werkes verweisen; so viel glauben wir indeß bewiesen zu haben, daß die chemischen Wirkungen des Lichtes, so entgegengesetzt sie auch sind, mit der Vibrationstheorie keineswegs im Widerspruch stehen, aus ihr vielmehr noch auf die ungezwungenste Weise sich erklären lassen.

Nicht alle Farben des Spectrums zeigen dieselbe chemische Kraft. Scheele setzte 1773 ein mit Chlorsilber überzogenes Papier der Wirkung des Sonnenspectrums (Fig. 96, S. 107) aus, und bemerkte, daß das Chlorsilber zuerst und am intensivsten im Violett, dann im Blau u. s. w., zuletzt im Roth geschwärzt wurde, und daß die rothen Lichtstrahlen nach 40 Minuten noch keine so große Schwärzung hervorzubringen vermochten, als die violetten in $^1/_4$ Minute. Seine Beobachtungen wurden später von Senebier, Berthollet, Rumford u. A. wiederholt und vervollständigt. Es bestätigte sich, daß die chemische Wirkung der verschiedenen Farben eben solche Verschiedenheiten zeigte, wie ihre Kraft zu leuchten und zu erwärmen, daß aber die am stärksten brechbaren Strahlen vom violetten Ende des Spectrums, obwohl sie auf die Netzhaut des menschlichen Auges nur eine schwache Wirkung ausüben, die größte chemische Intensität besitzen. Ritter beobachtete 1801, daß ein mit frischem Chlorsilber überzogener Papierstreif zuerst außerhalb des sichtbaren Spectrums, jenseit des Violett, geschwärzt wurde; die Wirkung setzte sich durch Violett und Blau fort und hörte im Grün allmählig auf. Im Gelb, Orange und Roth blieb das Chlorsilber auch nach längerer Zeit noch vollkommen weiß. Es ergab sich sogar, daß die weniger brechbaren Strahlen vom rothen Ende des Spectrums eine entgegengesetzte Wirkung ausübten, denn als Ritter den Versuch mit Chlorsilber wiederholte, welches durch kurze Einwirkung des Tageslichtes grau geworden war, färbte sich dasselbe im Roth sogar heller, während am violetten Ende die graue Farbe des Chlorsilbers immer dunkler wurde, eine Beobachtung, welche trotz des mehrfach dagegen erhobenen Widerspruchs durch neuere Erfahrungen bestätigt worden ist. Während wir also die größte Helligkeit im Gelb und Orange des Spectrums wahrnehmen, ist die chemische Wirkung dort sehr gering; dagegen ist sie am intensivsten am violetten Ende und erstreckt sich noch ziemlich weit darüber hinaus. Hieraus folgt, daß es jenseit des Violett noch stärker brechbare Strahlen gibt, für welche zwar die Netzhaut unseres Auges unempfindlich ist, deren Vorhandensein sich aber aus ihren chemischen Wirkungen ergibt. In Fig. 267 haben wir versucht, diese Intensitätsverhältnisse durch eine graphische Darstellung zu verdeutlichen. Die Curve der

(Fig. 267.)



optischen Intensität ist nach den photometrischen Messungen Fraunhofer's, die der chemischen Intensität nach Seebeck's Beobachtungen construirt, welcher die Versuche Ritter's wiederholte und auch auf farbige Gläser ausdehnte. Wie zu erwarten, fand derselbe die durch blaue und violette Gläser gegangenen Sonnenstrahlen besonders wirksam, während die rothen und

gelben Gläser nur wenige chemisch wirksame Strahlen durchließen. Seebeck beobachtete auch, daß unter gewissen Umständen das Chlorsilber im rothen Ende des Spectrums roth, im violetten Ende blau gefärbt wurde. Seine Versuche wurden von Herschel wiederholt und erweitert, welcher die verschiedene, zum Theil entgegengesetzte Wirkung der verschiedenen Spectralfarben sehr gründlich erforschte.

Daß auch die verschiedenen reflectirten Farben in Uebereinstimmung mit Ritter's und Seebeck's Beobachtungen eine ganz verschiedene Wirkung auf chemisch empfindliche Substanzen haben, welche mit der optischen Intensität keineswegs zusammenfällt, wird in den photographischen Ateliers täglich wahrgenommen; jeder Photograph weiß, daß die blauen und violetten Farben viel stärker auf eine empfindliche Platte wirken, als Gelb und Roth, und daß die roth und gelb gefärbten Gegenstände sich langsamer und matter abbilden. Lampen- oder Kerzenlicht, welches vorherrschend die chemisch unwirksamen Strahlen enthält, läßt sich daher eben so wenig zur Erzeugung von Lichtbildern benutzen, wie das röthlich gelbe Licht der Abenddämmerung, weil in beiden Fällen die chemischen Strahlen nur schwach vertreten sind.

Achromatismus. Da die verschiedenen Farben bei der Brechung eine verschiedene Ablenkung erfahren, so ist mit jeder Brechung des Lichtes durch ein Prisma eine Farbenzerstreuung nothwendig verbunden, wie dies in dem physikalischen Theile (S. 106 ff.) auseinander gesetzt ist. Wendet man statt des Prisma's eine Convexlinse an, die man sich gewissermaßen als ein in sich zusammengekrümmtes Prisma denken kann, welches seine brechende Kante ringsum liegen hat, so liegt der Vereinigungspunkt der stärker brechbaren violetten Strahlen näher an der Linse, als der Brennpunkt der am wenigsten brechbaren rothen Strahlen, und zwischen diesen beiden liegen die Brennpunkte aller übrigen Farben.

Eine einfache Linse gibt deshalb in der Camera obscura (S. 123 f.) nirgends ein vollkommen scharfes optisches Bild, weil die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden verschiedenfarbigen Strahlen sich nicht wieder in einem Punkte vereinigen; das deutlichste optische Bild wird in derjenigen Entfernung entstehen, wo sich die optisch wirksamsten, d. h. hellsten Strahlen vereinigen, also in der Entfernung, welche etwa der Brennweite des Orange entspricht. Allein hier entsteht keineswegs das deutlichste chemische Bild, vielmehr ist die Brennweite der chemisch wirksamsten Strahlen eine kürzere, weil dieselben stärker brechbar sind. Die durch die Farbenzerstreuung bewirkte Undeutlichkeit der optischen Bilder kann durch achromatische Linsen beseitigt werden, deren Zusammensetzung im physikalischen Abschnitt (S. 131 f.) angegeben und erörtert ist. Da aber die chemisch wirksamsten Lichtstrahlen nur eine sehr geringe optische Wirkung haben, so wird eine optisch achromatische Linse noch nicht chemisch achromatisch sein. Die Erfahrung hat dies bestätigt. Man kann zwar die Krümmung der Flächen so berechnen, daß die Linsen auch die überviolettten Strahlen mit den übrigen vereinigen; allein die für diesen Zweck construirten Linsen geben nach den neuesten Erfahrungen keineswegs die schärfsten Bilder, vielleicht deshalb, weil die Strahlen vom rothen Ende des Spectrums eine entgegengesetzte chemische Wirkung haben, wie die violetten und überviolettten Strahlen, also die Einwirkung der letzteren zum Theil aufheben oder wenigstens verlangsamen. Zwar sind bei allen besseren photographischen Apparaten optisch achromatische Linsen durchgängig eingeführt, doch will Claudet bemerkt haben, daß bei richtiger Einstellung der Platte einfache, nicht achromatische Linsen die schärfsten photogra-

phischen Bilder geben. Nach diesen theoretischen Andeutungen, ohne welche ein Verständniß der durch das Licht hervorgerufenen chemischen Veränderungen nicht wohl möglich ist, werfen wir, bevor wir die Photographie in ihrer heutigen Vollendung ins Auge fassen, einen Blick auf ihre historische Entwickelung.

Die ersten photographischen Versuche.

Wir haben oben erwähnt, daß bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts Wedgwood den Versuch machte, die zersetzende Einwirkung des Lichtes auf Silbersalze zur Darstellung von Lichtbildern zu benutzen. Er setzte ein mit salpetersaurem Silberoxyd getränktes Papier der Bestrahlung in der Camera obscura aus, doch erhielt er wegen der zu langsamen Zersetzung dieses Salzes keine deutlichen Bilder und gab seinen Versuch auf, indem er sich darauf beschränkte, Kupferstiche zu copiren. Zu diesem Zwecke bedeckte er das im Dunkeln präparirte Papierblatt mit der Bildseite des zu copirenden Kupferstiches, die Rückseite des letzteren mit einem Glase, und ließ das Sonnenlicht darauf einwirken. Das empfindliche Papier wurde nun an den hellen Stellen des Kupferstiches geschwärzt, die dunkeln Stellen dagegen hinderten die Einwirkung des Lichtes; das Papier blieb also hier weiß. Die Halbschatten erschienen braun. Es entstand also ein sogenanntes negatives Bild, in welchem Licht und Schatten umgekehrt vertheilt waren, als im Original. Später fand Wedgwood, daß die Bilder auf Leder sich rascher erzeugten, als auf Papier, eine Wirkung der in dem Leder enthaltenen Gerbsäure, von welcher später die Rede sein wird. Wedgwood.

Davy wandte statt des salpetersauren Salzes das weit empfindlichere Chlorsilber an, und es gelang ihm, die Bilder des Sonnenmikroskops zu fixiren. Allein er sowohl als Wedgwood vermochten nicht, das unzersetzte Silbersalz vor der ferneren Einwirkung des Lichtes zu schützen; die Bilder durften nur bei Lampenlicht betrachtet werden und wurden nach und nach gleichförmig schwarz. Eine solche Substanz aufzufinden, welche das unveränderte Chlorsilber auflöste, das zersetzte aber nicht angriffe, dies bezeichnete Davy mit Recht als die nächste Aufgabe der Photographie. Davy.

Seit 1814 beschäftigte sich auch Niepce mit der Erzeugung photographischer Bilder. Er überstrich Metallplatten (Kupfer- oder Silberplatten) mit einem gegen die Einwirkung des Lichts empfindlichen Firniß, der aus einer Auflösung von Asphalt in Lavendelöl bestand, und bedeckte die so zubereitete Platte mit der Bildseite eines mittelst Firniß durchscheinend gemachten Kupferstiches, legte darüber eine Glasplatte und ließ das Ganze von der Sonne bestrahlen. In einigen Stunden trat ein schwaches Bild hervor. Indem nämlich das Licht an den hellen Stellen des Kupferstiches durchdringt, bleicht es den Asphaltüberzug der Platte; die den Schattenstellen des Bildes entsprechenden, durch die Druckerschwärze vor dem Lichte geschützten Stellen dagegen erscheinen dunkel (matt grau); Licht und Schatten waren also in der photographischen Copie ebenso vertheilt, wie im Original. Niepce machte auch die Entdeckung, daß der vom Lichte veränderte Asphalt seine Löslichkeit in einer Mischung von Steinöl und Lavendelöl verloren hatte, und fand damit ein Verfahren, um die vom Lichte nicht afficirten Stellen vor der ferneren Einwirkung desselben zu schützen. Hierin lag ein bedeutender Fortschritt. Behandelte er die exponirte Platte mit der gedachten Mischung, so löste sich der nicht vom Lichte getroffene Asphalt auf, während die durch das Licht gebleichten Stellen nicht angegriffen wurden. An den Niepce.

Schattenstellen wurde also das Metall bloß gelegt und somit das Bild fixirt. Wurde nun ein solches Bild mit verdünnter Salpetersäure übergossen, so griff diese das bloß gelegte Metall an, während die Asphaltschicht der Lichtstellen die Einwirkung der Salpetersäure verhinderte. Auf diese Weise verschaffte sich Niepce Kupferplatten, die zum Druck geeignet waren; denn in den Vertiefungen der geätzten Stellen haftet die mit einem Lederballen eingeriebene Druckerschwärze, während die blanke Metallfläche ungeschwärzt bleibt. Niepce versuchte, diese Methode auch zur Fixirung der Bilder der Camera obscura anzuwenden; allein für die durch dieses Instrument erlangten viel schwächeren Lichteffecte zeigte sich die Asphaltschicht zu wenig empfindlich. Sie erforderte eine Exposition von 8—10 Stunden. Da sich aber während dieser Zeit der Stand der Sonne und mit ihm die Lage und Begrenzung der Schatten allmählig bedeutend ändert, so konnte er nur verwaschene und undeutliche Bilder erhalten. Ueberhaupt fehlte der ganzen Methode noch die nöthige Sicherheit. Die Mischung von Steinöl und Lavendelöl wirkte bald zu stark, bald zu schwach; es erwies sich in der Praxis äußerst schwierig, genau den Punkt zu treffen, wo der unveränderte Asphalt noch löslich, der vom Lichte veränderte aber bereits unlöslich geworden war, da in der Löslichkeit beider in der That nur eine geringe Gradverschiedenheit stattfindet.

Daguerre.

Niepce verband sich 1829 mit Daguerre, welcher sich gleichfalls seit einer Reihe von Jahren mit der Photographie beschäftigt hatte und welchem es gelang, das Verfahren Niepce's zu erweitern und zu verbessern, besonders aber eine weit größere Empfindlichkeit der Platte herbeizuführen, durch welche die Entstehung des Bildes kaum so viele Minuten erforderte, als Niepce Stunden brauchte. Niepce starb 1833 und hinterließ einen Neffen, welcher die angefangenen Versuche in Verbindung mit Daguerre fortsetzte und welchem die Photographie gleichfalls viel zu danken hat. Erst 1838 waren beide zu einer vollkommen sicheren Methode gelangt, welche die Entstehung eines deutlichen und scharfen Bildes in der Camera obscura auf wenige Minuten reducirte und die fernere Einwirkung des Lichtes vollständig aufhob. Seit der Publikation ihres Verfahrens ist die Photographie in einer fotwährenden Vervollkommnung begriffen, so daß es unmöglich ist, die Namen aller der Männer zu nennen, welche sich um dieselbe Verdienste erworben haben. Die Methode ist so einfach geworden, daß es bei einigem Geschick Jedem leicht ist, dieselbe in kurzer Zeit zu erlernen.

Die Daguerreotypie.

Nach dem von Daguerre in Verbindung mit Niepce im Stillen ausgebildeten und 1838 veröffentlichten Verfahren werden die Lichtbilder auf einer blanken Silberplatte dargestellt.

Vorbereitung der Platte.

Die Vorbereitung der empfindlichen Platte erfordert nach Daguerre's Vorschrift die größte Sorgfalt. Eine Silberplatte von entsprechender Größe, oder auch eine mit Silber überzogene Kupferplatte (entweder plattirtes oder galvanoplastisch versilbertes Kupferblech) wird aufs Sorgfältigste mit verdünnter Salpetersäure, Oel, Tripel, Eisenoxyd, Baumwolle u. s. w. geputzt, so daß man eine absolut ebene und in allen Punkten vollkommen reinmetallische Silberfläche hat. Die frisch gereinigte Silberplatte wird dann jodirt, d. h. mit einer äußerst dünnen Schicht Jodsilber überzogen. Zu diesem Ende kommt sie in ein Kästchen, in welchem Jod bei gewöhnlicher

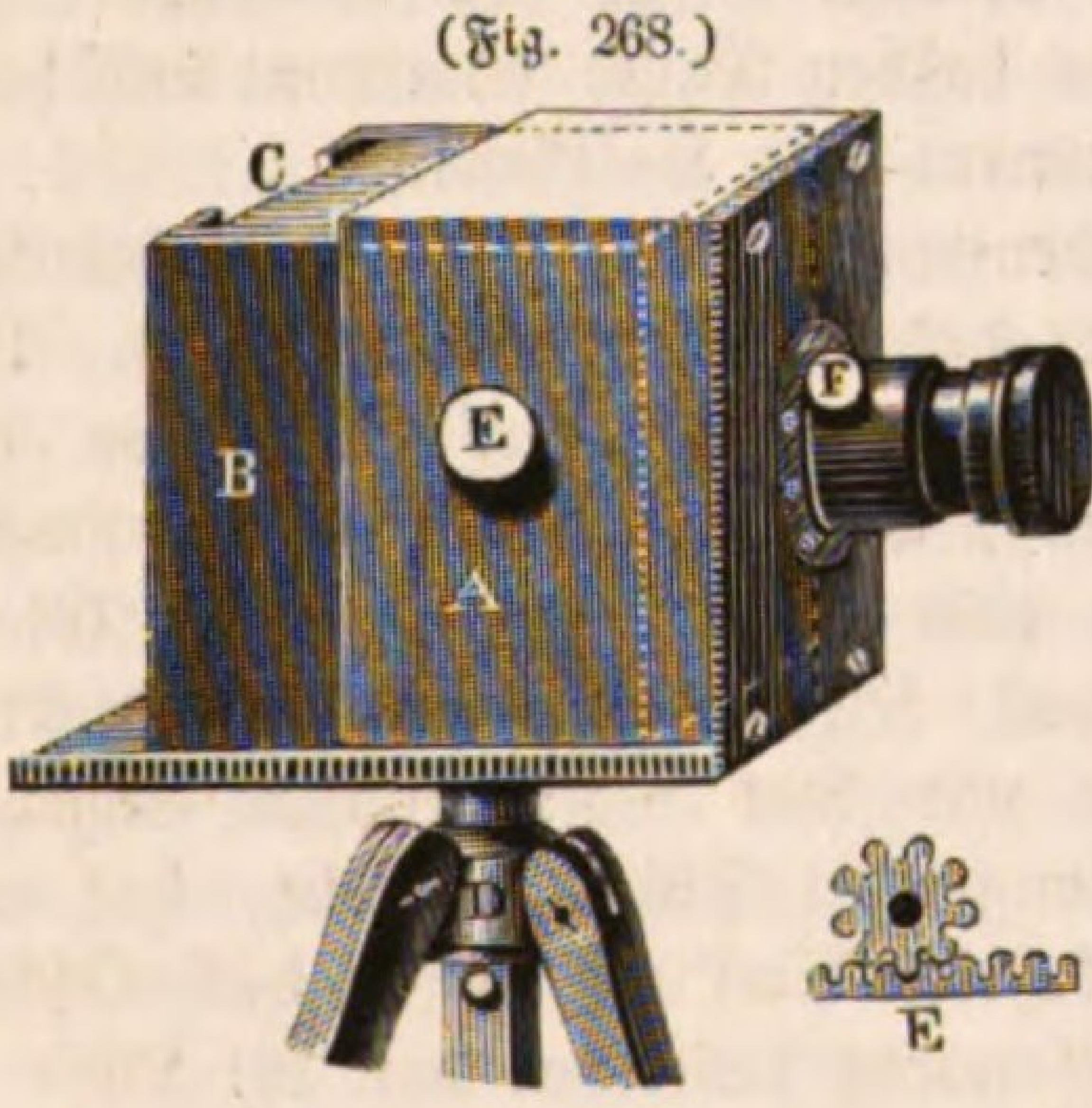
Temperatur verdampft. In dieser Atmosphäre erscheint die Platte nach der Dicke der gebildeten Jodsilberschicht mit den Farben dünner Blättchen, welche, wie im physikalischen Abschnitte S. 111 ff. gezeigt ist, von der Dicke der Schicht abhängen.

Das Jodiren ist im Dunkeln vorzunehmen; der Photograph beobachtet die fortschreitende Dicke der Schicht, indem er die Platte von Zeit zu Zeit aufhebt und bei Lampenlicht betrachtet. Nach Claudet gelingt die Operation am besten, wenn das Jodiren unterbrochen wird, sobald auf der Platte zum zweiten Male Gelb erscheint, entsprechend einer Schicht von etwa 0,0004 Millimeter Dicke. Die so zubereitete Platte muß durchaus dieselbe Farbe zeigen. Eine bedeutend größere Empfindlichkeit erlangt die Silberplatte nach Fizeau, wenn dem Jodsilber etwas Brom- und Chlorsilber beigemengt ist. Zu dem Zwecke wird gewöhnlich dem Jod etwas Brom beigemischt und die jodirte Silberplatte sodann noch Brom- und Chlordämpfen ausgesetzt, indem man sie über Wasser hält, in welchem diese Stoffe aufgelöst sind. Bis zur Exposition wird die Platte in einem inwendig geschwärzten flachen Kästchen aufbewahrt und durch einen dicht schließenden Schieber vor der Einwirkung des Lichtes geschützt. Dieses Kästchen paßt als Hinterwand in die Camera obscura, in welche sie bei der Exposition eingesetzt wird.

Exposition der Silberplatte.

Auf die Construction der Camera obscura ist seit der Erfindung der Daguerreotypie eine große Sorgfalt verwandt, und dieses Instrument sehr vervollkommnet worden. Eine gebräuchliche Camera obscura ist in Fig. 268 abgebildet. Der Körper derselben, ein viereckiger, innen geschwärzter Kasten, besteht aus zwei Theilen A und B. Der vordere, auf einem passenden Stativ D feststehende Theil A trägt an seiner Vorderwand ein Messingrohr mit der bilderzeugenden, gewöhnlich achromatischen Linse, welches mittelst des Triebes F verlängert und verkürzt, und durch den Messingdeckel G lichtdicht geschlossen werden kann. Die hintere Hälfte B läßt sich durch den Trieb E, welcher in eine gezahnte Stange eingreift, gleichfalls vor- und rückwärts bewegen. Als Hinterwand der Camera wird zunächst ein Rähmchen eingesetzt, welches eine auf der Innenseite mattgeschliffene Glastafel enthält, deren Entfernung von der Linse mittelst des Triebes E so regulirt wird, daß ein scharfes optisches Bild erscheint. Um dies richtig zu beurtheilen, muß während der Betrachtung desselben alles fremde Licht ausgeschlossen werden. Dies geschieht, indem man ein undurchsichtiges, schwarzes Tuch, welches wie eine Schürze an dem hinteren, oberen Rande von A befestigt ist, über den Kopf deckt. Am besten bedient man sich dabei einer Loupe.

(Fig. 268.)

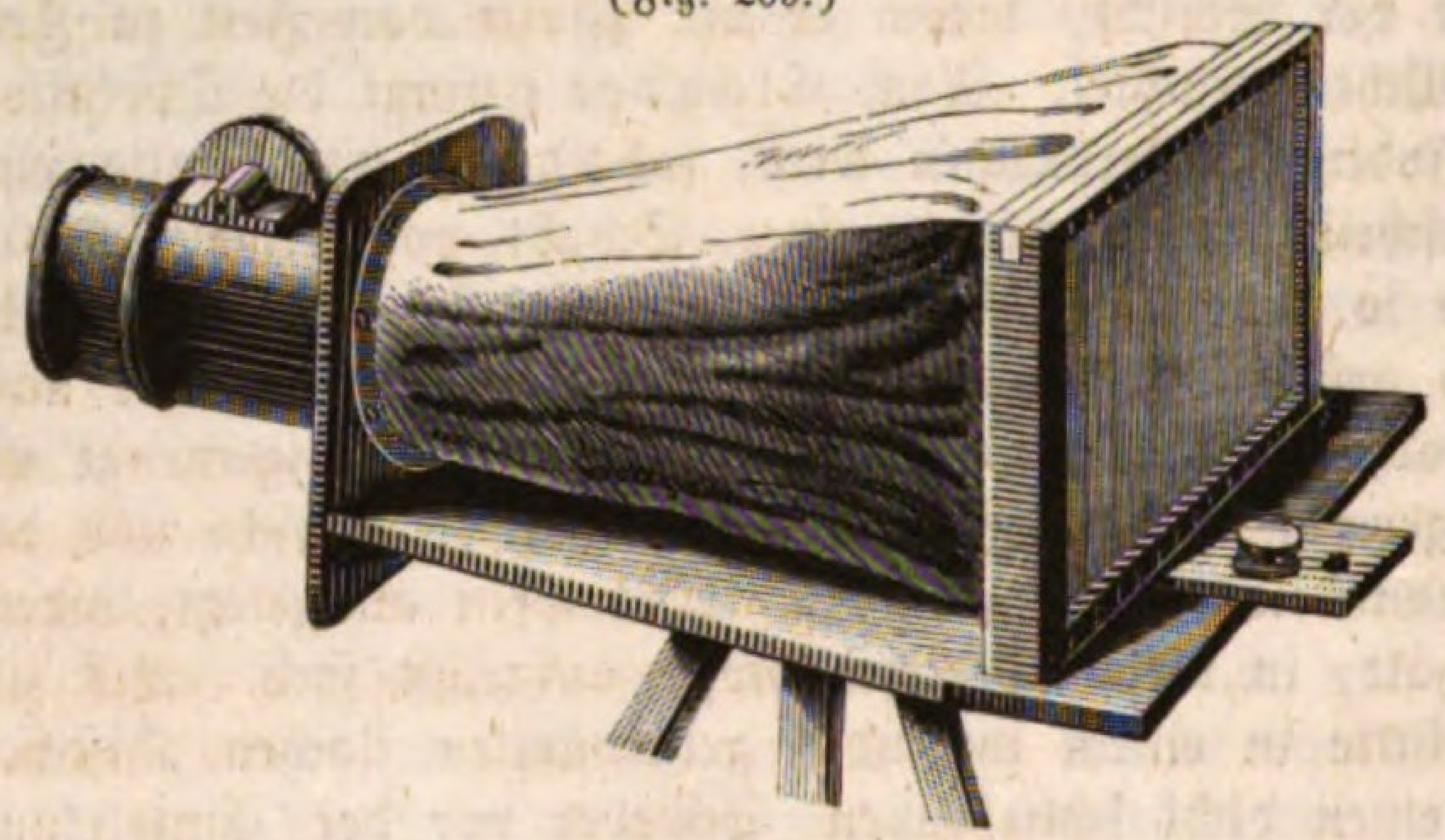


Ist die Einstellung richtig, so wird statt der matten Glastafel das flache Kästchen mit der jodirten Silberplatte eingeschoben, der dieselbe schützende Schieber abgezogen, und hierauf der Deckel G so lange abgenommen, als zur Hervorbringung eines scharfen Bildes erfahrungsgemäß nöthig ist. Diese Zeit ist jedoch sehr verschieden und hängt sowohl von der Empfindlichkeit der Platte, als von der Helligkeit und Farbe des Tageslichtes, welches

in dieser Beziehung eine große Verschiedenheit zeigt, sowie von der Farbe des abzubildenden Gegenstandes, ab.

Eine andere Form der Camera obscura, welche auf der Londoner Industrie-Ausstellung großen Beifall fand, ist Fig. 269 abgebildet.

(Fig. 269.)



Sie hat statt des Kastens eine dehnbare Tuchhülle und gewährt den Vortheil, daß sich die empfindliche Platte unter jedem beliebigen Winkel einstellen läßt. Das Hintergestell des Instruments ist an eine verschiebbare Platte befestigt, welche in jedem beliebigen Abstande von der Linse festgeschraubt werden kann, um den Experimentirenden in den Stand zu setzen, Linsen von verschiedener Brennweite zu benutzen. Die Linsen lassen sich mit Hülfe eines feinen Triebes einstellen und außerdem in verticaler Richtung bewegen, um das Bild in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen. Diese Camera ist besonders für den Transport geeignet, indem sie zusammengelegt kaum den halben Raum einnimmt und halb so viel wiegt, als ein gewöhnliches Instrument mit Holzkasten.

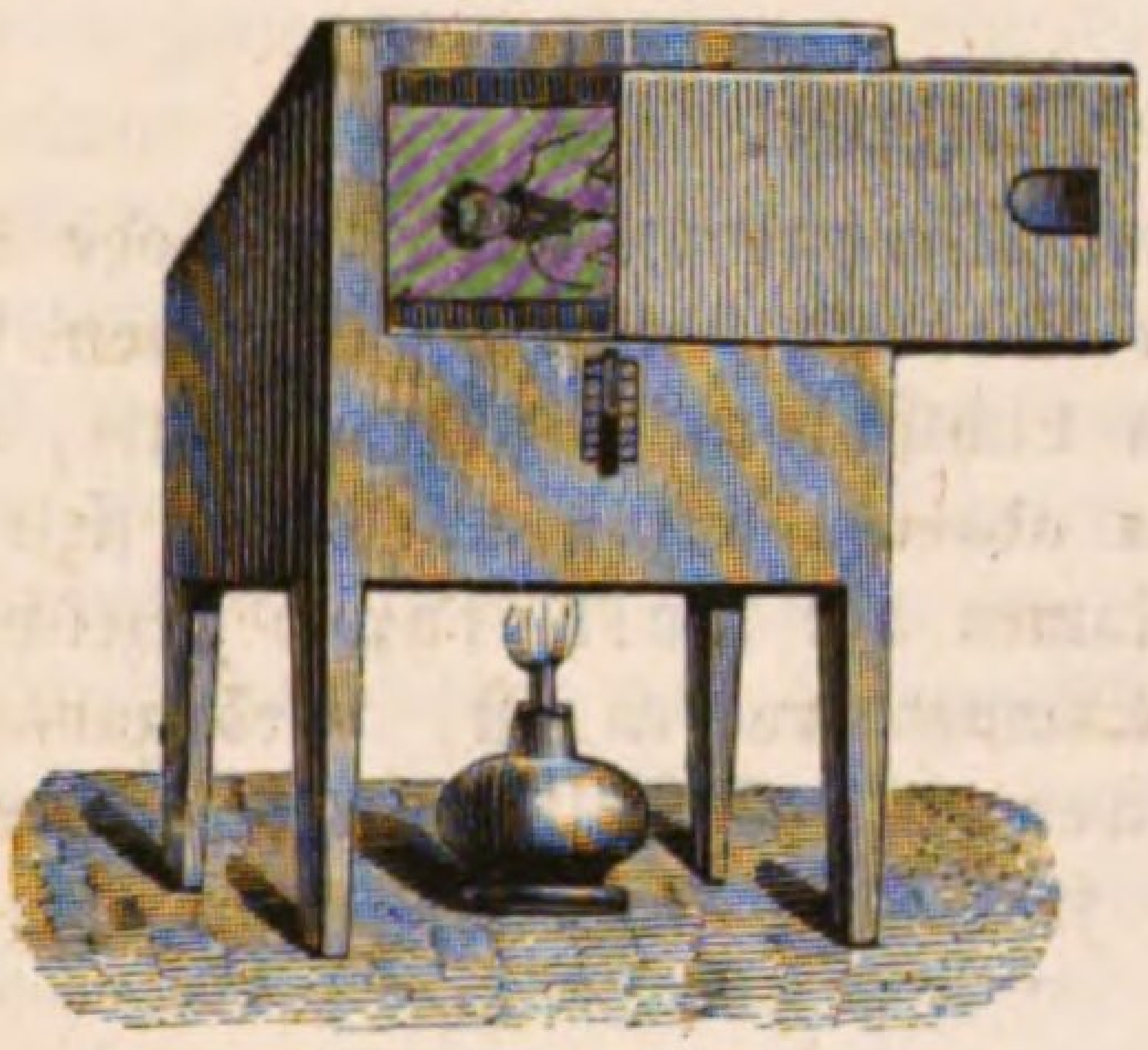
Es ist schon oben (S. 422) angedeutet worden, daß das chemische Bild nicht immer genau in der Brennweite des optischen Feldes liegt. Um die hieraus entstehende Undeutlichkeit zu beseitigen, ist eine Correction der Einstellung erforderlich; die Silberplatte muß, wenn die chemische Brennweite mit der optischen nicht zusammenfällt, vor oder hinter dem Orte der Glastafel eingesetzt werden. Um diesen Abstand festzustellen, sind verschiedene Methoden angegeben worden, auf welche wir hier nicht genauer eingehen können. Das Bild, welches auf der auffangenden Fläche entsteht, hat aus den früher entwickelten Gründen die umgekehrte Stellung gegen das Object und ist um so vielmal kleiner, als die Entfernung desselben von der Linse in dem Abstande zwischen Linse und Object enthalten ist (s. S. 123, Fig. 122). Mit der Entfernung des Objects von der Linse ändert sich demnach sowohl der Ort, als auch die Größe des entstehenden Bildes. Daraus folgt, daß auf einer ebenen Fläche streng genommen nur von denjenigen Punkten eines körperlichen Objects, welche von der Linse die gleiche Entfernung haben, zugleich ein deutliches Bild entstehen kann. Bei Anfertigung eines photographischen Porträts wird die Linse so eingestellt, daß das Gesicht der abzubildenden Person deutlich erscheint; ist die Stellung so gewählt, daß z. B. die Kniee und Hände sich näher an der Linse befinden, so geben diese nicht allein ein undeutliches Bild, sondern auch ein verhältnißmäßig größeres. Derartige nachtheilige Stellungen sind daher zu vermeiden. Durch die Fig. 269 abgebildete Camera obscura, deren Rückwand sich unter jedem Winkel einstellen läßt, können die aus einer falschen Stellung des Objectes herrührenden Fehler häufig vermieden werden.

Die Exposition wird unterbrochen, bevor ein sichtbares Bild auf der Platte erscheint; sie erfordert nach der Daguerre'schen Methode je nach

der Helligkeit und Farbe des Tageslichtes 3 bis 30 Minuten; beim Zusatz der beschleunigenden Substanzen Brom und Chlor aber nur eben so viele Secunden. Die Hervorrufung des Bildes erfolgt aber, wenn man die bestrahlte Platte Quecksilberdämpfen aussetzt. Dies geschieht in einem auf vier Füßen stehenden Kästchen (Fig. 270), dessen bauchig ausgetriebener Boden das Quecksilber enthält. Die Verdampfung desselben wird durch eine untergesetzte Spirituslampe bewirkt; durch ein in dem Quecksilber befindliches Thermometer beobachtet man seine Temperatur, welche nicht über 75 ^{0} C. steigen darf. Die Platte lehnt in einiger Entfernung schräg darüber, und die allmählige Entstehung des vorher unsichtbaren Bildes kann durch ein Glasfenster beobachtet werden. Es versteht sich von selbst, daß diese Operation im Dunkeln vorgenommen und die Platte nur bei Lampenlicht betrachtet werden darf. Das Quecksilber verdichtet sich an den vom Licht getroffenen Stellen in der Form von mikroskopisch kleinen Tröpfchen, und die Gradverschiedenheit dieser Condensation hängt von der Intensität der Lichtwirkung ab, so daß die Stellen des Bildes, welche das meiste Licht empfingen, das Quecksilber am stärksten condensiren. Bei richtiger Dauer der Exposition ist der Absatz des Quecksilberhauches an den verschiedenen Stellen der vorhergegangenen Beleuchtung proportional, und da das Quecksilber gegen die dunkle Fläche weiß erscheint, so erhält man ein Bild, in welchem die Abstufungen von Licht und Schatten in derselben Weise vertheilt sind, wie in dem Objecte.

Hervorrufung des Bildes.

(Fig. 270.)



Die Fixirung dieses Bildes, d. h. die Entfernung des unzersetzten Silbersalzes geschieht, indem man auf die Platte eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron bringt, worin das Jodsilber leicht löslich ist. — Durch mehrmaliges Nachspülen mit reinem Wasser wird jede Spur der Salze entfernt.

Fixirung des Bildes.

Die so zubereiteten Platten werden alsdann nach Fizeau noch schwach vergoldet, indem man sie mit einer sehr verdünnten Lösung von Goldchlorid und unterschwefligsaurem Natron übergießt und in horizontaler Stellung durch eine Spirituslampe erwärmt, um die Verdampfung zu befördern. Der Absatz der äußerst dünnen Goldschicht gibt den vom Quecksilber nicht getroffenen Stellen eine dunkle, bräunliche Farbe, während die Quecksilberstellen des Bildes vollkommen weiß bleiben. Somit tritt das Bild viel deutlicher hervor. Außerdem wird aber auch durch die Vergoldung dem vorher äußerst vergänglichen Bilde eine größere Festigkeit und Dauerhaftigkeit verliehen. Beim Erscheinen der dunkeln Goldschicht wird die Erwärmung unterbrochen, die Goldlösung abgegossen, und das fertige Bild mit destillirtem Wasser mehrmals abgewaschen.

Die Daguerreotypen geben nur dann ein richtiges Bild, wenn sie so betrachtet werden, daß die vergoldete Silberfläche kein Licht reflectirt; hält man dieselben aber so gegen das Licht, daß die vergoldete Silberfläche spiegelt, so erscheint diese heller, als der Quecksilberbeschlag, und das Bild erscheint negativ. Dieser Nachtheil, welchen die Daguerreotypen mit allen

Bildern gemein haben, deren Oberfläche spiegelt, ist bei den übrigen Arten der Photographie vermieden.

Ein anderer Uebelstand der Daguerreotypen besteht darin, daß dieselben den Gegenstand umgekehrt wiedergeben, die rechte und linke Seite verwechselt, wie bei Spiegelbildern. Dies wirkt in den meisten Fällen störend, da die wenigsten Gesichter symmetrisch sind.

Die Talbot'sche Methode.

Talbotypie. Unmittelbar nach der Publication der Daguerre'schen Methode der Photographie machte auch der Engländer Talbot, welcher sich schon seit mehreren Jahren mit der Darstellung von Lichtbildern beschäftigt hatte, ein Verfahren bekannt, die Bilder der Camera obscura auf Papier zu fixiren. Nach dieser Methode, welche mit dem Namen der Talbotypie bezeichnet und im Laufe der Zeit vielfach vervollkommnet worden ist, wird zunächst auf einer durchscheinenden Substanz ein negatives Bild erzeugt und von diesem sodann in ähnlicher Weise, wie früher Wedgwood und Davy versuchten, eine positive Copie genommen.

Negatives Bild. Zur Erzeugung des negativen Bildes legte Talbot ein Stück feines, möglichst gleichförmiges Maschinenpapier zunächst auf eine verdünnte Kochsalzlösung, und sodann, nachdem es zwischen Fließpapier ein wenig getrocknet war, im Dunkeln auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd. Durch die chemische Verwandtschaft zwischen Chlor und Silber erfolgt eine Wechselzersetzung: das Chlor des Kochsalzes (Chlornatriums) geht an das Silber; es entsteht Chlorsilber, welches sich an der Oberfläche des Papiers und zwischen den Papierfasern ablagert. Es hat sich gezeigt, daß eine geringe Beimengung von Brom- uud Jodsilber eine noch größere Empfindlichkeit bewirkt, daß es also zweckmäßig ist, der Kochsalzlösung etwas Brom- und Jodkalium zuzusetzen.

Das auf solche Weise zubereitete empfindliche Papier wird in der Camera obscura einige Secunden exponirt, ganz in der oben beschriebenen Weise, und zeigt dann beim Herausnehmen ebenso wenig ein Bild, wie die Daguerre'sche Silberplatte. Das Bild tritt aber hervor, wenn man das Papier sogleich auf eine concentrirte Lösung von Pyrogallussäure legt. Diese Substanz besitzt in hohem Grade die Kraft, die chemischen Verbindungen der edeln Metalle mit Sauerstoff, Chlor u. s. w. unter Mitwirkung des Lichtes zu zersetzen, während dieselben beim Ausschluß des Lichtes nicht davon afficirt werden. Da die Pyrogallussäure im vorliegenden Falle aber auch dann noch zersetzend auf die Silbersalze des empfindlichen Papiers wirkt, wenn die kurze Einwirkung des Lichtes bereits aufgehört hat, so müssen durch das Licht die chemischen Verbindungen gewissermaßen gelockert worden sein; der eigenthümliche Zustand der gegenseitigen Spannung, in welchen die Bestandtheile des Silbersalzes versetzt sind, dauert eine Zeitlang fort, ähnlich wie das Leuchten eines vom Lichte bestrahlten phosphorescirenden Körpers (S. 88), und die Pyrogallussäure setzt die vom Lichte eingeleitete Wirkung bis zur völligen Zersetzung des Salzes fort, wobei sich dieselbe gleichfalls in eine dunkel gefärbte, humusartige Substanz verwandelt. Eine Lösung von Eisenvitriol zeigt eine ähnliche Wirkung, wie die Pyrogallussäure, und wird in der Photographie zu gleichem Zwecke vielfach angewandt. Es versteht sich von selbst, daß die Hervorrufung des Bildes im Dunkeln bei gelber Beleuchtung Statt finden muß.

Die Fixirung dieses negativen Bildes geschieht, nachdem dasselbe aus der Pyrogallussäure genommen und mit reinem Wasser abgewaschen ist, durch Eintauchen in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron, wie bei den Daguerreotypplatten, und darauf folgendes mehrmaliges Abspülen mit reinem Wasser.

Von dem auf solche Weise erhaltenen negativen Bilde, welches von jetzt ab dem Tageslichte ausgesetzt werden darf, können nun beliebig viele positive Copien genommen werden. Zu dem Ende macht man dasselbe nach dem Trocknen zunächst durchscheinend, indem man es auf einer erwärmten Metallplatte mit einer Mischung aus Wachs und Talg tränkt, wobei jeder Ueberschuß zu vermeiden ist. Nach langsamem Erkalten wird das negative Bild mit der Bildseite auf die empfindliche Seite eines neuen photographischen Papiers gelegt; beide Papiere kommen miteinander in den sogenannten Copirrahmen, wo sie zwischen zwei gut geschliffenen Glasplatten eingeklemmt und der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt werden. Das empfindliche Papier ist an seiner Hinterseite durch schwarzen Sammet vor der Einwirkung des Lichtes geschützt; die Sonnenstrahlen treffen dasselbe nur, nachdem sie vorher das davorliegende negative Bild durchdrungen haben und erzeugen dadurch ein positives Bild, welches, wenn es nöthig sein sollte, wieder durch Pyrogallussäure oder Eisenvitriol hervorgerufen, und durch unterschwefligsaures Natron fixirt wird. Erzeugung des positiven Bildes.

Diese durch Talbot publicirte Methode der Photographie auf Papier zeigt gegen die Daguerreotypie manche Vortheile. Zunächst fällt dabei das unangenehme und hindernde Spiegeln der blanken Silberfläche weg. Das photographische Papier ist selbstverständlich weit billiger herzustellen als die Daguerre'schen Silberplatten und ein negatives Bild kann beliebig oft copirt werden. Auch wird durch das Copiren der in der Camera erzeugten Bilder der Fehler corrigirt, an welchem die Daguerre'schen Bilder leiden, daß die rechte und linke Seite verwechselt erscheinen.

Die Glasbilder.

Eine wesentliche Verbesserung der Talbot'schen Methode ist die von dem jüngeren Niepce zuerst vorgeschlagene Erzeugung der negativen Bilder auf präparirten Glasplatten. Das Papier hat nämlich niemals eine ganz glatte Oberfläche, es ist, da es aus verfilzten Leinen- und Baumwollenfasern besteht, niemals gleichmäßig durchscheinend zu machen, und da alle hierdurch entstehenden Fehler und Ungenauigkeiten auf die positive Copie übertragen werden, so lag der Gedanke nahe, als Träger der empfindlichen Schicht statt des Papiers Glas anzuwenden, welches bei einer glätteren Oberfläche eine fast vollkommene Durchsichtigkeit besitzt und also eine weit feinere Ausprägung des abzubildenden Gegenstandes gestattet. Niepce brachte zuerst Gelatine (Leim), Eiweiß und Stärkekleister, der Engländer Bingham das Collodium in Vorschlag. Besonders der letztere interessante Stoff hat sich durch die Einfachheit seiner Anwendung, die Schnelligkeit, womit er den Lichteindruck empfängt, und die Feinheit der erhaltenen Bilder, allgemeinen Eingang verschafft und die übrigen Substanzen fast vollständig verdrängt.

Das Collodium ist eine Auflösung der von Schönbein entdeckten Schießbaumwolle in Aether, welcher etwa 8 Procent Alkohol enthält. Wenn man diese Lösung auf eine Fläche streicht, so bildet sich bei der Verdampfung des Lösungsmittels sehr rasch eine dichte Collodiumhaut. In der Photographie wendet man eine sehr verdünnte ätherische Lösung an, die mit

etwas Jodkalium oder Jodammonium*) versetzt ist (auf jedes Loth Collodium 2 — 3 Gran Jodkalium), dieselbe wird auf eine fein geschliffene, vorher sorgfältig gereinigte Glasplatte in einer dünnen Schicht gleichmäßig ausgegossen und hinterläßt beim Verdampfen des Aethers ein außerordentlich dünnes Collodiumhäutchen; auf diesem wird die empfindliche Schicht von Jodsilber erzeugt, indem man die mit jodhaltigem Collodium überzogene Glasplatte in eine wässerige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd eintaucht. Sie wird nach dem Abwaschen am besten einige Minuten einer mäßigen Wärme ausgesetzt und noch feucht in die Camera obscura gebracht**). Die Hervorrufung des Bildes geschieht, wie bei dem Talbot'schen Verfahren, durch eine concentrirte Auflösung von Pyrogallussäure in Wasser, dem etwas Essigsäure zugesetzt ist, oder auch durch eine angesäuerte Eisenvitriollösung, die Fixirung durch unterschwefligsaures Natron. Von dem hierdurch entstandenen negativen Bilde wird auf die oben angegebene Weise eine positive Copie auf photographischem Papier erzeugt.

Zur Erzeugung positiver Bilder nach negativen hat neuerdings Niepce das salpetersaure Uranoxyd mit ausgezeichnetem Erfolg angewandt. Seine von Hagen wesentlich verbesserte Methode besteht in Folgendem: Ungeleimtes oder durch Auskochen in reinem Wasser von seinem Leim befreites Papier wird mit einer ziemlich concentrirten Lösung von reinem salpetersauren Uranoxyd getränkt, welches keine überschüssige Säure enthalten darf, hierauf getrocknet und hinter dem negativen Bilde in gewöhnlicher Weise sehr kurze Zeit dem Lichte exponirt. Es tritt ein scharfes positives Bild hervor, sobald man das exponirte Uranpapier in eine mit etwas Alkohol oder Aether versetzte Silberlösung bringt. Zur Fixirung genügt Abwaschen mit bloßem Wasser. Die so erhaltenen Bilder zeichnen sich durch ihre große Haltbarkeit aus.

Vergrößerte oder verkleinerte Bilder.

Mitunter erscheint es wünschenswerth, die Copie in anderem Maßstabe auszuführen, als das negative Bild. Dieß geschieht nicht im Copirrahmen, sondern mittelst einer dazu eingerichteten doppelten Camera obscura. Gesetzt, es sollte von einem kleinen negativen Glasbilde eine vergrößerte positive Copie genommen werden, so setzt man an das Objectiv einer Camera lichtdicht eine zweite Camera obscura in umgekehrter Stellung, so daß beide die Linse zwischen sich haben. In den Rahmen der letzteren bringt man das zu copirende Negativ und stellt den Apparat so auf, daß das directe Licht durch das Bild hindurch in die vordere Camera und durch die Linse in die hintere Camera fällt. Der Rahmen der letzteren nimmt das für die Copie bestimmte Papier oder Glas auf, nachdem die beiden verbundenen Instrumente in ihrer Länge so eingestellt sind, daß das Bild die gewünschte Größe enthält. Wie sich aus der im physikalischen Abschnitte S. 123 ff. entwickelten Wirkung der Convexlinsen ergibt, steht die Größe der beiden Bilder in demselben Verhältniß, wie ihre Entfernung von der Linse. Ist z. B. das negative Bild in der doppelten Brennweite der Linse aufgestellt, so entsteht

*) Neuerdings werden auch Brom- und Jod-Cadmium angewandt; sie erhöhen die Empfindlichkeit der Collodiumschicht nach ihrer Behandlung mit Silberlösung bedeutend.

**) Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Schießbaumwolle durch einen Körper verdrängt werden wird, der noch leichter, sicherer und billiger darzustellen ist, nämlich durch die von Peligot entdeckte Auflösung von Baumwolle in Kupferoxyd-Ammoniak. Diese Lösung hat Dr. van Monckhoven mit bestem Erfolg statt des Collodiums angewandt; die Bilder sollen sehr zart und durchsichtig ausfallen.

ein umgekehrtes positives Bild jenseits der Linse gleichfalls in doppelter Brennweite; beide sind in diesem Falle von gleicher Größe. Wird das Negativ näher an die Linse gestellt (ohne jedoch den Brennpunkt zu erreichen), so rückt der Ort der positiven Copie in eine größere Entfernung, wobei dasselbe sich zugleich vergrößert. Will man dagegen eine verkleinerte Copie erhalten, so muß das Negativ um mehr als die doppelte Brennweite von der Linse entfernt werden. — Die zu diesen Operationen anzuwendende Camera muß sich sehr bedeutend verlängern lassen; am besten eignet sich dazu eine Camera, deren Körper wie der Blasebalg einer Ziehharmonika eingerichtet ist.

Wir sahen lebensgroße photographische Porträts von großer Schönheit, welche mittelst wiederholter Vergrößerung von kleinen, aber sehr scharfen und fehlerfreien Photographien copirt waren. Da es weit leichter ist, von Landschaften oder architektonischen Gegenständen recht scharfe Aufnahmen in kleinem Maßstabe auszuführen, und da sich sowohl diese kleinen Bilder, als auch die dazu erforderliche kleinere Camera nebst allen übrigen zugehörigen Apparaten weit bequemer transportiren lassen, so ergibt sich hieraus für reisende Photographen ein bedeutender Vortheil; die kleinen Negativs können zu Hause mit Bequemlichkeit in jedem beliebigen Maßstabe copirt werden.

Directe Erzeugung positiver Lichtbilder.

Es sind zur directen Erzeugung positiver Lichtbilder verschiedene Methoden mit gutem Erfolge angewandt worden. Martin hat folgendes Verfahren veröffentlicht, welches sehr gute Resultate gibt: Martin's Methode.

Das Collodium wird so weit verdünnt, daß es auf 1 Gran Schießbaumwolle 120 Gran Aether und 60 Gran Alkohol enthält. Man setzt diesem Collodium $1\frac{1}{2}$ Gr. Jodsilber zu, welches in 20 Gr. Alkohol mittelst Jodammonium gelöst ist. Nachdem die gut gereinigte Platte mit einer dünnen Schicht dieses Collodiums übergossen und noch bevor dasselbe vollkommen getrocknet ist, wird sie in eine verdünnte, wässerige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht, welches etwas überschüssige Salpetersäure enthält. (20 Theile Silbersalz und 12 Th. Salpetersäure auf 240 Th. Wasser.) Nach der Exposition in der Camera, welche nur wenige Secunden erfordert, wird das Bild durch Eintauchen in eine Eisenvitriollösung hervorgerufen; es ist negativ, wird aber sofort positiv, wenn man die sorgfältig abgewaschene Glasplatte in eine Auflösung von Cyansilberkalium bringt. Diese Lösung wird erhalten, wenn man 25 Th. Cyankalium und 4 Th. salpetersaures Silberoxyd in 1000 Th. Wasser löst. Hierdurch werden die vorher dunkeln Stellen des Bildes, welche den Lichtpartieen des Objectes entsprechen, je nach der stattgehabten Bestrahlung mehr oder weniger undurchsichtig grau bis weiß; an den vom Lichte nicht getroffenen Stellen dagegen wird das Silbersalz von dem Cyansilberkalium aufgelöst und diese Stellen erscheinen somit dunkel, wenn man die Glasplatte gegen einen dunkeln Hintergrund hält. Nach dem Abwaschen wird das Bild mit Dextrin (Stärkegummi) überzogen, getrocknet, und entweder auf der Rückseite durch einen dunkeln Anstrich geschwärzt, oder besser auf einem Grunde von schwarzem Sammet eingerahmt.

Noch bessere (sowohl positive als negative) Bilder erhält man nach Berry, wenn man statt des Jodsilbers Bromsilber anwendet. Dieser löst 60 Gran Bromammonium in möglichst wenig Alkohol und setzt dann so viel reines Collodium zu, bis die Mischung eine Unze wiegt. Um die mit diesem bromhaltigen Collodium überzogene Glasplatte empfindlich zu Berry's Methode.

machen, wird sie in eine Silberlösung getaucht, welche auf jede Unze des Bades 60 Gran salpetersaures Silberoxyd enthält. Die Hervorrufung des negativen Bildes erfolgt ebenso wie nach Martin's Vorschrift, durch Eisenvitriol, und die Umwandlung desselben in ein positives Bild durch Cyansilberkalium. Die von Berry nach dieser Vorschrift dargestellten Lichtbilder zeichnen sich besonders durch ihre Harmonie aus. Die verschiedenen Farben des Originals geben einen ihrer optischen Intensität proportionalen Lichteindruck, so daß man eine wahre Copie durch entsprechende helle oder dunkle Tinten oder Halbtinten erhält.

Da Jod- und Bromsilber sich in Collodium ziemlich leicht auflösen, so kann man die Silberbäder ersparen, oder vielmehr Collodiumüberzug und Silberbad in eine einzige Operation vereinigen. Man verwandelt das salpetersaure Silberoxyd durch Zusatz von Brom- oder Jodammonium in Brom- oder Jodsilber und löst dieses in Collodium auf; die Lösung erscheint milchig getrübt. Natürlich muß dieses lichtempfindliche Collodium in undurchsichtigen Flaschen aufbewahrt und das Ueberziehen der Platten im Dunkeln vorgenommen werden.

Uebertragung der Collodiumbilder auf andere Substanzen.

Die Collodiumschicht haftet nur lose an dem Glase und läßt sich daher, bevor sie durch zu große Austrocknung spröde geworden ist, davon abziehen. Nach Gaudin kann man auch schon trockene Collodiumbilder abziehen und auf schwarzer Wachsleinwand haften machen. Zur Vermeidung von Luftblasen legt man die vorher gefirnißte Wachsleinwand unter Wasser auf die mit einem hinreichend starken Collodiumhäutchen überzogene Glasplatte und drückt beide an den Ecken lose aneinander. Indem die Glastafel sammt der darauf liegenden Wachsleinwand rasch nach oben bewegt wird, drückt das Wasser die letztere senkrecht gegen die Collodiumschicht an. Wenn die Wachsleinwand und das Collodium einander innig berühren, läßt sich letzteres von der Glastafel abziehen. Um dabei das Zerreißen des Collodiums zu vermeiden, ist es gut, beide Flächen, leicht aneinander gehalten, zwischen mehrere Bogen Fließpapier zu legen, das Wasser auszudrücken und die Feuchtigkeit durch Trocknen zu verflüchtigen. Nach dem Trocknen läßt sich die Wachsleinwand stets ohne Schwierigkeit von der Glastafel abnehmen, das Bild erscheint auf derselben positiv.

Auf ähnliche Weise werden Lichtbilder auf Kattun, Leinwand, Seide u. s. w. übertragen, sie haben den Vorzug der äußersten Billigkeit; sie spiegeln nicht, werden durch Berührung nicht verdorben, lassen sich vielmehr waschen, und können in einem Briefe versandt werden.

Lafon de Camarsac hat die photographischen Bilder mit Erfolg auf Porzellan, Email und Glas übertragen und dann in dem Muffelofen eingebrannt; Collodium, Eiweiß, Leim u. s. w. verbrennen dabei und das metallische Silber der negativen Bilder bildet auf einer dunkeln Unterlage die Lichtstellen; für weißes Porzellan und Email dagegen werden die Schattenpartien durch das Metall dargestellt, also ein positives Bild eingebrannt.

Photographische Druckplatten.

Alle Lichtbilder sind mehr oder weniger vergänglich, am meisten die Daguerreotypen, da das Quecksilber bei jeder Temperatur verdampft, wenn auch bei niederen Temperaturgraden sehr langsam und unmerklich. Die

Papierbilder, deren Schatten und Halbschatten aus Silber bestehen, sind zwar dauerhafter, aber gewiß nicht von unbegrenzter Dauer. Das Silber war in den zur Vorbereitung des empfindlichen Papiers angewandten Flüssigkeiten in gelöstem Zustande enthalten; es ist demnach in den geeigneten chemischen Reagentien löslich, und wenn auch nicht anzunehmen ist, daß die Lichtbilder bei ihrer Aufbewahrung mit ähnlichen Stoffen in Berührung kommen, so ist es doch wahrscheinlich, daß auch weit schwächere Agentien, welche den Bildern durch die atmosphärische Luft zugeführt werden, nach sehr langer Zeit eine ähnliche Wirkung ausüben können, zumal da die Menge des auf einem Lichtbilde vorhandenen Silbers außerordentlich gering ist. In der That zeigt die Erfahrung, daß alle, auch die nach den besten Methoden dargestellten Papierbilder mit der Zeit verblassen, obwohl in dieser Beziehung bereits wichtige Verbesserungen erzielt worden sind und größere ohne Zweifel nachfolgen werden.

Besonders die Galvanoplastik hat sich hülfreich gezeigt, um unveränderliche Copieen von Lichtbildern zu liefern. Es gelingt sehr leicht, von einem guten Daguerreotyp eine unbegrenzte Anzahl galvanoplastischer Copieen zu erhalten. Dasselbe muß gut vergoldet sein und wird, nachdem der Rand und die Rückseite mit einem isolirenden Wachsüberzuge versehen sind, in eine verdünnte Kupfervitriollösung eingesetzt und mit dem negativen Pole einer galvanischen Kette verbunden. Als positive Platte steht ihr in geringer Entfernung ($^1/_5$ Zoll) ein Kupferblech gegenüber. Es bildet sich rasch eine Kupferschicht, welche abgenommen werden kann, sobald dieselbe Papierdicke erlangt hat. Das Bild erscheint auf dieser Kupferplatte vollkommen scharf und rein. Man kann eine beliebige Anzahl solcher Copieen von einem Daguerreotyp nehmen, ohne demselben zu schaden. Diese Copieen werden alsdann am besten galvanisch versilbert; sie sind nicht allein von unbegrenzter Dauerhaftigkeit, sondern sie verbessern auch den Fehler der Daguerreotypen, welcher aus der Verwechselung von Rechts und Links entsteht, indem sie das umgekehrte Bild nochmals umkehren. Dies Verfahren ist jedoch sehr zeitraubend, indem der galvanische Niederschlag mindestens 6 bis 8 Stunden Zeit erfordert, und außerdem wegen des theuren Materials dieser Bilder zu kostspielig.

Galvanoplastische Copieen.

Besonders wünschenswerth mußte die Vervielfältigung der Lichtbilder durch die Druckerpresse, also die Anfertigung photographischer Druckplatten erscheinen, und in dieser Richtung sind seit der Erfindung der Photographie eine große Menge von Versuchen gemacht worden, welche, wenn auch noch nicht vollkommen befriedigende, doch so ermunternde Resultate geliefert haben, daß wir uns nicht versagen können, die wichtigsten der in dieser Richtung geschehenen Schritte etwas genauer ins Auge zu fassen.

Grove machte 1841 eine Methode bekannt, Daguerreotypen zum Druck zu ätzen. Er brachte die nicht vergoldete Daguerresche Platte, nachdem sie am Rande und auf der Rückseite gefirnißt war, in verdünnte Salzsäure, stellte ihr in geringer Entfernung ($^1/_5$ Zoll) eine gleich große Platinplatte gegenüber und verband letztere mit dem negativen, erstere mit dem positiven Pole eines galvanischen Elementes. In 25 bis 30 Secunden war die Aetzung vollendet; es zeigte sich, daß die Silberfläche von der Salzsäure etwas stärker angegriffen wurde, als die mit Quecksilber überzogenen Lichtstellen des Bildes. Die so geätzte Platte wird mit unterschwefligsaurem Natron und hierauf mit reinem Wasser abgewaschen und kann direct zum

Geätzte Daguerreotypen.

Drucken nach Art eines Kupferstiches gebraucht werden. Doch hat es damit folgende Schwierigkeiten: sind die Platten so tief geätzt, daß sie sich deutlich abdrucken, so müssen die feinsten Linien des Originals nothwendig in einander laufen, wodurch der Hauptvorzug dieser ausgezeichneten Bilder verloren geht; läßt man dagegen den Proceß nur so lange dauern, daß man ein genaues Aetzbild nach der Originalzeichnung erhält, was auf das Vollkommenste geschehen kann, so vernichtet das starke Putzen derselben von Seiten des Druckers ihre Schönheit, und da die Theilchen der Druckerschwärze größer sind, als die Vertiefungen der geätzten Platte, so wird der Druck unvollkommen. Auch können die so zarten Platten natürlich nur eine beschränkte Anzahl von Abdrücken aushalten.

Photographischer Stich.

Salmon und Garnier erfanden ein Verfahren, Photographien auf Messingplatten zu copiren und diese zum Druck zu ätzen. Die gut polirte und sorgfältig geputzte Messingplatte wird zuerst wie eine Daguerresche Silberplatte jodirt, dann mit dem zu copirenden (positiven) Glasbilde bedeckt und der Einwirkung des zerstreuten Tageslichtes ausgesetzt. Hierauf wird die Photographie im Dunkeln abgenommen und die Messingplatte mit einem Baumwollenbällchen eingerieben, welches einige Quecksilberkügelchen enthält. Das Quecksilber haftet alsdann nur an denjenigen Stellen, welche vor der Einwirkung des Lichtes geschützt waren, also an den Schattenstellen der Photographie. Man erhält also das Bild weiß auf dunkelm Grunde. Wird nun dieses Bild mit einer eingeschwärzten Druckerwalze überfahren, so nehmen nur diejenigen Stellen die fettige Schwärze an, welche von dem Quecksilberüberzuge frei geblieben sind. Die Schwärze versieht jetzt, sobald sie eingetrocknet ist, die Stelle des Aetzgrundes. Wird die Platte (am besten auf galvanischem Wege) geätzt, so lösen sich nur die Quecksilberstellen auf; dieselben können bis zu beliebiger Tiefe geätzt und die Platte alsdann in der Kupferpresse abgedruckt werden, nachdem die Schwärze durch Terpenthinöl entfernt ist.

Pretsch's Photo-Galvanographie.

Auf das schon vor längerer Zeit von Ponton entdeckte Verhalten des zweifach-chromsauren Kali's, unter dem Einfluß des Lichtes von organischen Substanzen zersetzt zu werden, sind von Poitevin, Pretsch, Kronheim u. A. verschiedene Methoden zur Erzeugung photographischer Druckplatten gegründet worden. Die besten Resultate hat folgende Methode ergeben: Eine Glasplatte wird mit einer Flüssigkeit übergossen, welche aus 4 Unzen reinster Gelatine (Leim), 14 Unzen destillirtem Wasser, 256 Gran zweifach-chromsaurem Kali, 84 Gran salpetersaurem Silberoxyd und 24 Gran Jodkalium besteht, und dann im Dunkeln getrocknet. Die auf solche Weise präparirte empfindliche Platte wird mit einer gut durchsichtigen (positiven) Photographie bedeckt und der Einwirkung des directen Sonnenlichtes kurze Zeit ausgesetzt. Hierbei schützen die geschwärzten Stellen des Lichtbildes die Platte gegen Veränderung, während die durchsichtigen Stellen das Licht zur Bewirkung der Veränderung durchlassen. Diese durch das Licht bewirkte Veränderung besteht darin, daß die Chromsäure des Salzes unter Abgabe von Sauerstoff zu Chromoxyd reducirt wird, welches sich mit dem Leim verbindet und denselben hierdurch unlöslich macht. Die Platte wird hierauf mit Wasser befeuchtet; der unveränderte Leim (an den Schattenstellen) schwillt auf und bildet ein erhabenes Korn, während die vom Lichte getroffenen Stellen vertieft und eben bleiben. Könnte man von dieser Platte direct einen galvanischen Abdruck machen, so würde dieser an den Schattenstellen

vertieft gekörnt erscheinen, also in der Kupferdruckpresse Bilder geben, welche der Photographie entsprechen. Allein der Leim kann nicht in das galvanische Bad gebracht werden, ohne wieder anzuschwellen. Man nimmt daher erst einen Gutta-Percha-Abdruck und macht von diesem eine galvanoplastische Matrize, von welcher dann auf galvanischem Wege Kupferdruckplatten angefertigt werden können. Die damit gedruckten Bilder sind außerordentlich schön im Detail und zeigen einen bewundernswürdigen Lufteffect, weil die mittleren Töne ganz beibehalten sind. — Es versteht sich von selbst, daß auf das Drucken die größte Sorgfalt verwandt und namentlich eine sehr feine Druckfarbe angewandt werden muß, wenn die Feinheiten der Platte auf dem Papier wiedergegeben werden sollen.

In etwas anderer Weise benutzte Talbot die Lichtempfindlichkeit der Chromsäure in Verbindung mit Leim, um Kupferdruckplatten zu ätzen. Die Platte von Stahl, Kupfer oder Zinn wird zuerst mit Soda und Kreide auf's sorgfältigste geputzt und mit einer dünnen empfindlichen Leimschicht überzogen, welche 1 Theil Gelatine auf 32 bis 40 Theile Wasser und etwa 4 Theile einer gesättigten Lösung von zweifach-chromsaurem Kali enthält und über einer Spirituslampe rasch getrocknet. Hierauf wird dieselbe mit dem zu copirenden (positiven) Bilde bedeckt und im Copirrahmen dem Lichte ausgesetzt. Nach der Exposition erscheint ein schwaches negatives Bild, indem die gelbe Farbe der Gelatine überall, wo das Licht einwirkte, braun geworden ist. Talbot streut nun auf die Platte, die von jetzt ab wieder im dunkeln Zimmer zu behandeln ist, eine sehr zarte und ganz gleichmäßig vertheilte Schicht von feingepulvertem Copalharz und hält dieselbe horizontal über eine Spirituslampe, bis das Harz schmilzt. Hierzu ist eine ziemliche Hitze erforderlich, welche jedoch dem zarten Bilde nicht schadet. Nun wird die Platte mit einer sehr concentrirten Auflösung von Eisenchlorid geätzt, welche die Gelatine überall durchdringt, wo sie nicht vom Lichte verändert ist. Die auf solche Weise erhaltenen geätzten Platten sollen außerordentlich schöne Abdrücke liefern. Talbot's Photoglyphie.

Auch auf lithographischen Schiefer hat man mit gutem Erfolge Lichtbilder übertragen. Nach Lerebours und Lemercier übergießt man den Stein mit einer Auflösung von Asphalt in Schwefeläther, welche beim Trocknen einen feinen körnigen Ueberzug zurückläßt. Der so präparirte Stein wird mit einem negativen Lichtbilde bedeckt und dem Sonnenlichte ausgesetzt. Wenn man nach der Exposition den Stein mit Aether wäscht, so löst dieser den Asphalt nur da auf, wo derselbe vor der Einwirkung des Lichtes geschützt war, an den vom Lichte getroffenen Stellen ist er unlöslich geworden. Nach dem Trocknen wird der Stein ganz wie eine lithographische Kreidezeichnung mit verdünnter Säure, welcher etwas Gummi zugesetzt ist, geätzt, dann mit Wasser, nöthigenfalls auch mit Terpenthinöl, gewaschen und mit der gewöhnlichen lithographischen Druckerfarbe eingeschwärzt. Die photographische Druckerei von Lemercier in Paris liefert auf diese Weise ausgezeichnete Photolithographieen.

Farbige Lichtbilder.

Die Bestrebungen, ein Verfahren aufzufinden, welches nicht bloß die Contouren und die Vertheilung von Licht und Schatten, sondern auch die Farben des in der Camera obscura entstehenden Bildes wieder gäbe,

traten sofort nach dem Erscheinen der Daguerre'schen Bilder hervor. Dem Verlangen des Publikums nach farbigen Daguerreotypen entsprachen die Photographen durch Coloriren derselben, eine Verunstaltung, welche in neuerer Zeit mehr und mehr in Verruf gekommen ist. Man bedient sich dazu fein geriebener Pastellfarben, welche zunächst mit etwas Gummi in einen Brei verwandelt und dann nochmals zu einem unfühlbar zarten Pulver gerieben werden. Die farbigen Pulver werden auf die vergoldete Platte mit einem feinen Pinsel vorsichtig aufgetragen, das Ueberschüssige durch Blasen entfernt und der auf der Daguerreotypie hängen gebliebene Staub durch Anhauchen befestigt, indem hierdurch das Gummi sich löst. Eben so wenig Empfehlung verdient die auf transparente Lichtbilder angewandte Methode, nach welcher auf die Rückseite des Bildes, den Contouren entsprechend, transparente Farben aufgetragen werden.

Becquerel's Versuche.

Dem gegenüber wurden seit 1848 besonders von Becquerel im Anschluß an die früheren Beobachtungen von Seebeck und Herschel mit großer Umsicht und Ausdauer Versuche angestellt, um die Bilder der Camera obscura direct mit ihren Farben zu erzeugen. Wir glauben, daß das irgend Mögliche von ihm erreicht worden ist. Becquerel erzeugt eine weißliche Chlorsilberschicht, indem er eine Silberplatte in verdünnte Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) eintaucht und mit dem positiven Pole einer galvanischen Kette in Verbindung setzt. Den negativen Pol bildet ein Platindraht, welcher in einiger Entfernung vor der Silberplatte hin und her geführt wird. Das Chlor, welches am positiven Pole vom Wasserstoff geschieden wird, verbindet sich hier sofort mit dem Silber zu Silbersubchlorür, einer niederen Chlorstufe als das gewöhnliche Chlorsilber, welche zuerst in den Farben dünner Blättchen erscheint. Die Platte färbt sich anfangs grau, dann gelblich, violett, blau, grünlich, dann wieder grau, rosenroth, violett und endlich blau. Vor diesem zweiten Blau, wenn die Platte das Violett der zweiten Ordnung zeigt, wird dieselbe herausgenommen, mit destillirtem Wasser gewaschen und bei schwacher Erwärmung über einer Weingeistlampe rasch getrocknet. Die Chlorsilberschicht erscheint dann dunkel violett und nimmt im Sonnenspectrum eine Färbung an, welche den einzelnen Farben entspricht. Das Roth, Grün, Blau und Violett bilden sich sehr gut ab, Gelb und Orange weniger gut; doch sind die Farben sehr dunkel. Ein helleres Farbenbild des Spectrums erhielt Becquerel, wenn er die zubereitete Platte vorher einige Minuten lang auf 80° C. erwärmte. Es gelang ihm auch, colorirte Kupferstiche einigermaßen mit ihren Farben zu copiren, für die Camera obscura aber zeigten sich seine Platten viel zu unempfindlich, indem sie eine sehr lange Expositionszeit erforderten.

Bis jetzt konnte jedoch kein Mittel aufgefunden werden, um diese Farben, welche offenbar zu den Interferenzfarben dünner Blättchen (s. S. 111 ff.) zu zählen sind, also von der Dicke der zersetzten Schicht abhängen, zu fixiren; Becquerel's farbige Bilder lassen sich also nur im Dunkeln bei schwachem Lampenlicht betrachten; jedes der bis jetzt angewandten Fixirungsmittel bringt graue bis schwarze Farbentöne hervor. Aus theoretischen Gründen, deren Auseinandersetzung zu weit führen dürfte, ist es auch unwahrscheinlich, daß das Becquerel'sche Verfahren zu einem genügenden Resultate führen wird; es ist kaum denkbar, daß ein Fixirungsmittel zu finden sein dürfte, welches, ohne die Dicke der zersetzten Schicht zu ändern, das unzersetzte Chlorsilber wegnimmt oder für das Licht unempfindlich macht.

Bemerken wollen wir, daß 1851 der amerikanische Photograph Hill ein Verfahren entdeckt haben will, die Bilder der Camera mit ihren natürlichen Farben auf Metallplatten in sehr großer Vollkommenheit und Schönheit darzustellen, und daß er 1853 die Mitglieder der Patent-Commission von der erfolgten Lösung des Problems der photographischen Färbung, sowie von der Neuheit und Eigenthümlichkeit seiner Methode überzeugt hat. Hill erbot sich zugleich, sein Verfahren, welches als die höchste Vollendung der Photographie angesehen werden müßte, anderen Photographen mitzutheilen. Da seitdem Nichts weiter darüber verlautete, so halten wir es bei der bekannten Unzuverlässigkeit amerikanischer Nachrichten, besonders in Bezug auf Erfindungen und Entdeckungen, für gerathen, vorläufig die Bestätigung abzuwarten.

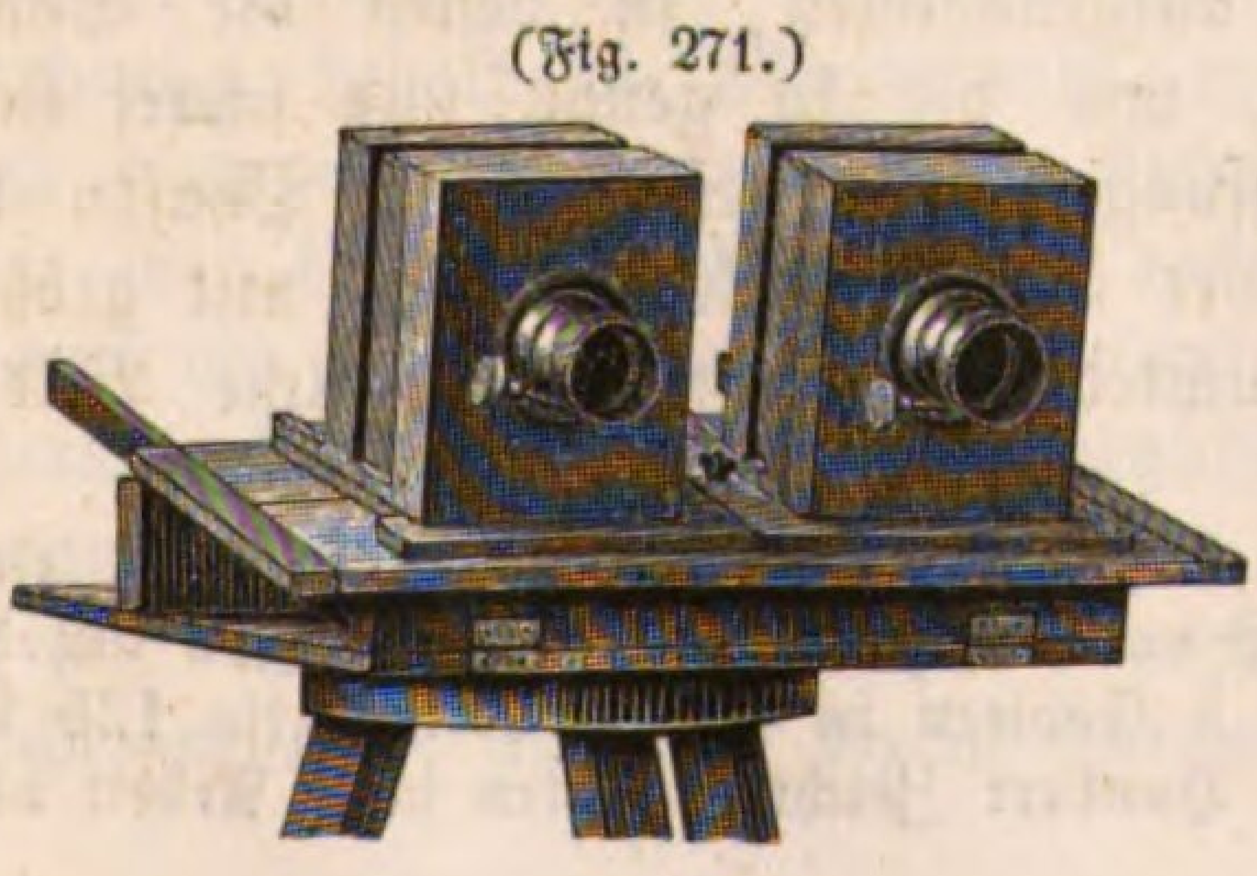
Anwendungen der Photographie.

Da in der Photographie das Licht selbst die Anfertigung der Zeichnung übernimmt, so erreicht ein gut ausgeführtes Lichtbild die höchste Treue und Naturwahrheit; es ist jetzt sehr leicht, um geringen Preis vollkommen treue Portraits, in wenigen Minuten richtige Ansichten von Gegenden, von complicirten Maschinen u. s. w. zu erlangen und die Anwendung der Photographie nach diesen Richtungen ist eine sehr ausgedehnte geworden. In Paris sieht man z. B. kleine photographische Portraits als Visitenkarten abgeben. — Die Sicherheitspolizei hat in der Photographie ein ausgezeichnetes Mittel erlangt, um von eingefangenen Verbrechern in wenigen Augenblicken ein wohlgetroffenes Bild zu bekommen, welches gewöhnlich beim ersten Verhör unbemerkt von einem Nebenzimmer aus aufgenommen wird. Bei der etwaigen Entweichung des Verbrechers werden dann statt der durchaus unzureichenden Steckbriefe photographische Copien versandt.

Stereoskopische Bilder.

Eine sehr nette und interessante Anwendung der Photographie sind die stereoskopischen Bilder, welche in neuerer Zeit in Paris, London 2c. 2c. in ausgezeichneter Schönheit angefertigt werden. Wir verweisen hier auf die Beschreibung und Abbildung des Brewster'schen Stereoskops, S. 134 ff., Fig. 143. Früher beschränkten sich die stereoskopischen Zeichnungen fast nur auf Constructionen einfacher mathematischer Körper; mit Hülfe der Photographie dagegen ist man im Stande, die reichsten Gruppen von Tausenden der verschiedenartigsten Gegenstände, durch Personen belebt, für das Stereoskop aufzunehmen und körperlich zu sehen; so existiren z. B. sehr viele derartige Aufnahmen aus der Londoner und Pariser Industrie-Ausstellung, Personengruppen, Blumen und Fruchtstücke, Landschaften, architektonische Bilder u. s. w. von solcher Reichhaltigkeit und Lebendigkeit, daß sie eine wahrhaft wunderbare Wirkung hervorrufen. Zur Darstellung dieser Bilder ist nur erforderlich, denselben Gegenstand zweimal von verschiedenen Standpunkten aufzunehmen, welche den verschiedenen Bildern beider Augen entsprechen. Die Aufnahme beider Bilder geschieht meist gleichzeitig auf zwei ganz gleich vorbereiteten Glasplatten in einer Doppel-Camera, Fig. 271, deren Objective an Lichtstärke, Brennweite 2c. vollkommen gleich sind. Beide Instrumente werden auf einem Brett unter dem entsprechenden Winkel festge-

(Fig. 271.)



schraubt und auf den Gegenstand eingestellt. Von den beiden hierdurch erhaltenen negativen Bildern nimmt man dann die positive Copie auf ein einziges Blatt.

Naturwissenschaftliche Abbildungen.

Ganz besonders hervorzuheben ist der Nutzen, welchen die photographischen Abbildungen denjenigen Wissenschaften gewähren, denen an möglichster Naturtreue vor Allem gelegen sein muß: den beschreibenden Naturwissenschaften, für welche z. B. vollkommen gute mikroskopische Bilder von höchstem Werthe sind, nicht minder der Ethnographie, Alterthumskunde u. s. w. So wird jetzt seit einigen Jahren von den Herren L. Rousseau und A. Deveria eine Photographie zoologique herausgegeben, welche den Zweck hat, die reichen Sammlungen des Pariser Museums kennen zu lehren. Die Abbildungen werden mittelst des photographischen Stahlstiches hergestellt. Von einer photographisch gravirten Stahlplatte lassen sich recht gut 3000 Abzüge machen. Es leuchtet ein, von welchem unschätzbaren Werthe die Dienste sind, welche die Photographie nach dieser Richtung hin für die Wissenschaft zu leisten vermag, besonders wenn in der Darstellung photographischer Druckplatten erst eine vollkommene Sicherheit erlangt sein wird.

Im brittischen topographischen Bureau hat man die Photographie mit außerordentlichem Vortheil angewandt, um die in großem Maßstab angefertigten Pläne auf kleinere Maßstäbe zu reduciren*).

Von großer Wichtigkeit ist die Photographie in neuester Zeit für die Holzschneidekunst geworden. Die zur Aufnahme des Holzstiches bestimmte Holzplatte wird im Dunkeln mit einem Gemenge von oxalsaurem Silberoxyd und Wasser, dem etwas geschlämmtes Ziegelmehl zugesetzt ist, überstrichen und getrocknet. Auf diesen Holzstock legt man ein negatives Bild und exponirt ihn dem Sonnenlichte. Beim Schneiden hat der Künstler directes Sonnenlicht zu vermeiden; zerstreutes Tageslicht wird erst nach längerer Einwirkung schädlich. Dies Verfahren eignet sich u. A. ganz besonders zur Copie von Kupferstichen, welche Strich für Strich wiedergegeben werden können, und, wenn es verlangt wird, in jedem beliebigen Maaßstabe.

Ausgezeichnete Dienste hat die Photographie der Astronomie geleistet. Auf der Sternwarte zu Rom hat man vorzügliche photographische Mondkarten dargestellt. Wenige Minuten nach der großen Sonnenfinsterniß am 15. März 1858 legte der Astronom Jago der Pariser Academie ein photographisches Abbild derselben vor. Es kam darauf an, von den verschiedenen Phasen der Erscheinung augenblicklich genaue Bilder zu erhalten; daher war eine genügende Anzahl von Platten vorher präparirt und so empfindlich gemacht, daß man Bilder in dem Bruchtheil einer Secunde erhalten konnte; zur Darstellung bediente man sich eines großen Fernrohres von 21 Zoll Durchmesser und 51 Fuß Brennweite. Während der ganzen Dauer der Sonnenfinsterniß wurden 15 Bilder aufgenommen, in denen die Sonne einen Durchmesser von 7 Zoll besitzt, und die so genau und scharf sind, daß man mittelst mikrometrischer Messungen alle verschiedenen Phasen der Finsterniß, die Stellung und Gestalt der Sonnenflecke u. s. w. mit größter Genauigkeit bestimmen kann. Es leuchtet ein, daß durch solche Bilder,

*) Oberst James berichtet darüber: „Ein Mann hat mit Beihülfe eines Druckers und eines Arbeiters 32,000 Acres von dem Maaßstab von 25 Zoll auf den von 6 Zoll per engl. Meile reducirt und 3 Copieen in 45 Blättern, also 135 Abdrücke angefertigt, Alles in sechs Tagen. Hundert Zeichner hätten diese Arbeit nicht zu Stande gebracht."

welche die vorübergehende Erscheinung fixiren, ein bei weitem gründlicheres Studium vermittelt werden kann, als durch die in einen kurzen Zeitraum zusammengedrängte Beobachtung der flüchtigen Erscheinung.

Wie wichtig für das Studium der Architektur und Sculptur sind die zahllosen photographischen Ansichten, die wir jetzt schon von den hervorragendsten Baudenkmalen und Bildhauerarbeiten aller Zeiten und Länder besitzen! Zum Studium der ägyptischen Hieroglyphen z. B. mußte man früher nach Aegypten reisen, in London, Paris, Berlin ägyptische Denkmale aufsuchen oder sich kostbare Werke anschaffen. Jetzt giebt es so vortreffliche Photographieen der ägyptischen Alterthümer, die noch obendrein viel genauer sind als das Werk des geschicktesten Zeichners, daß man an diesen ohne jene riesigen Kosten und ohne Zeitverlust das Studium vornehmen kann.

Interessant ist die Anwendung der Photographie im Dienste der beobachtenden Meteorologie, um die durch die meteorologischen Instrumente angezeigten atmosphärischen oder tellurischen Veränderungen zu registriren. Um eine graphische Darstellung der Veränderungen der Wärme oder des Luftdruckes zu erlangen, wie sie durch Thermometer und Barometer angezeigt werden, wird hinter dem zu beobachtenden Instrumente ein Streif empfindlichen Papieres in horizontaler Richtung langsam vorbeigeführt, indem dasselbe innerhalb einer Blechkapsel sich von einer Walze auf eine zweite wickelt, die durch ein Uhrwerk in gleichförmige Umdrehung versetzt ist. Bei dieser Bewegung passirt das Papier hinter einem, an der Vorderseite der Kapsel befindlichen schmalen Spalt vorüber, welcher durch das obere Ende des Barometers oder Thermometers geschlossen ist, und wird daher nur so weit geschwärzt, als das Licht nicht durch Quecksilber abgehalten ist. Die Eintheilung des Instrumentes ist auf dem Glasrohre selbst mit undurchsichtiger Farbe aufgetragen; bei der horizontalen Bewegung des Papieres stellen sich diese Theilstriche als helle horizontale Linien auf schwarzem Grunde dar, während die Quecksilberoberfläche eine Curve bildet, deren Berge und Thäler dem Steigen und Fallen des Instrumentes entsprechen. Die Beobachtungszeit ergiebt sich aus der vorbeigeführten Länge des Papieres. Die Beleuchtung erfolgt durch eine, dem Instrumente gegenüber aufgestellte Argand'sche Lampe mit Hohlspiegel, deren erwärmender Einfluß durch ein davor gestelltes, mit Wasser gefülltes Glasgefäß aufgehoben ist. — Um die Variationen und Störungen der Magnetnadel (s. S. 196) zu registriren, trägt dieselbe auf ihrer Mitte einen kleinen Stahlspiegel, welcher das von einer in gleicher Höhe aufgestellten Lampe kommende Licht reflectirt und folglich an der übrigens dunkeln Wand einen hellen Fleck erzeugt, der durch eine geeignete Krümmung des Spiegelchens bis auf einen leuchtenden Punkt concentrirt werden kann. Dieser helle Punkt verschiebt sich in horizontaler Richtung, sobald die Magnetnadel mit dem Spiegel ihre Stellung verändert, und zwar wird aus leicht begreiflichen Gründen jede kleine Schwankung als eine sehr bedeutende Abweichung des hellen Punktes wahrgenommen, zumal wenn die auffangende Fläche ziemlich weit entfernt ist. Läßt man das Strahlenbündel auf ein photographisches Papier fallen, welches von einer horizontal liegenden Walze auf eine zweite sich wickelt und auf welchem die Grade als senkrechte Linien gezeichnet sind, so werden die magnetischen Schwankungen als eine Curve darauf verzeichnet.

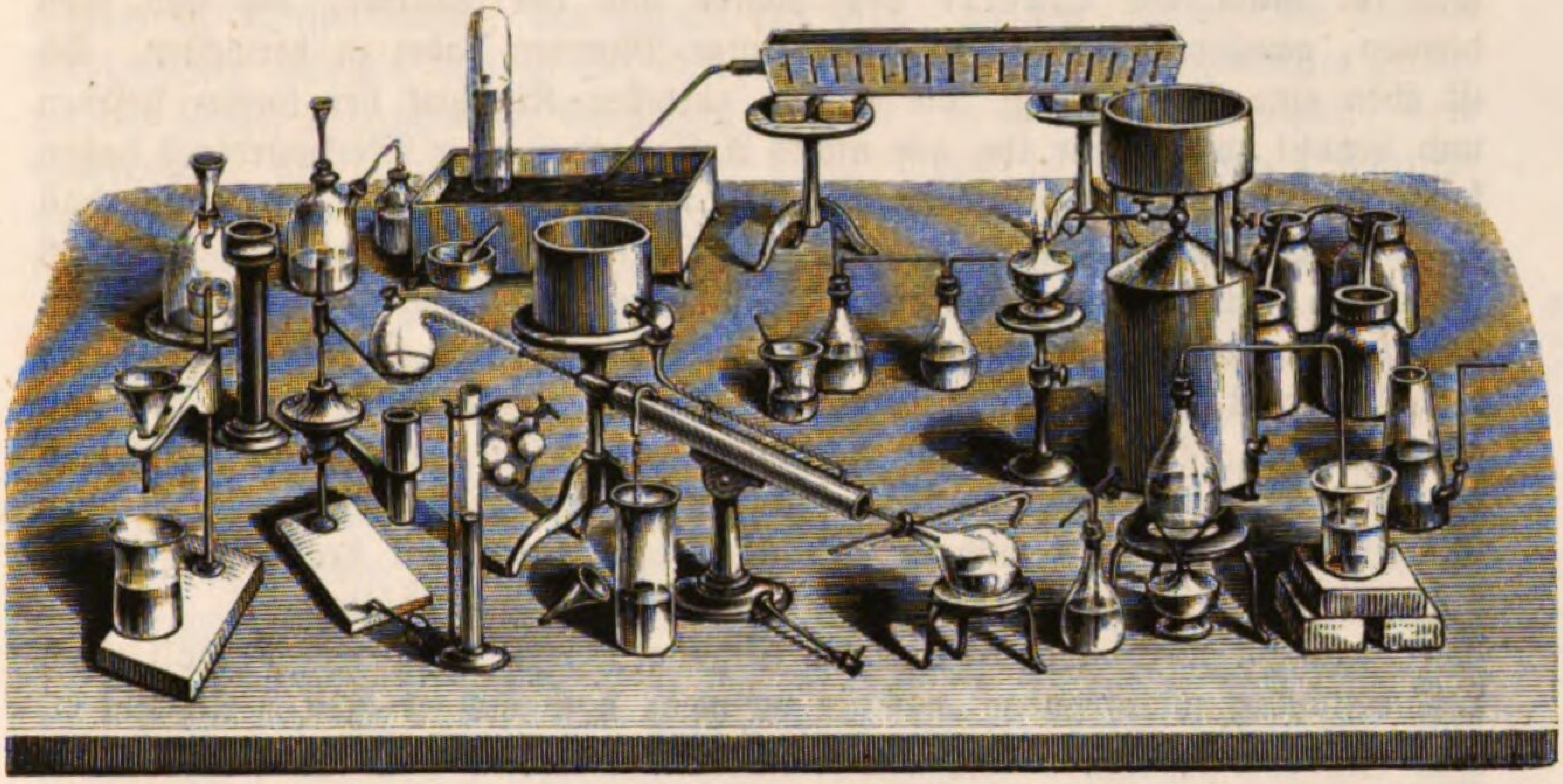
Meteorologische Lichtbilder.

Diese Anwendungen haben der Wissenschaft schon bedeutende Dienste geleistet. Den beobachtenden Meteorologen ist die ungeheure Last abgenommen, täglich in bestimmten Zwischenräumen mit verschärften Sinnen zu beobachten und die Beobachtungen aufzuschreiben; es ist jetzt Nichts weiter nöthig, als die Lampe im Stande zu erhalten, von Zeit zu Zeit die Uhr aufzuziehen, eine Walze mit frischem Papier einzusetzen und das herausgenommene zu fixiren. Die mit so geringer Mühe erlangten, durch das Licht gezeichneten Curven geben — und das ist ihr Hauptvorzug — ein weit anschaulicheres und richtigeres Bild der stattgehabten meteorologischen Veränderungen, als die mit größter Sorgfalt geführten Tabellen, da keine Beobachtungsfehler mit unterlaufen und die Aufzeichnung keinen Augenblick unterbrochen wird.

Chemie und chemische Technologie.

Von

Dr. J. Gottlieb,
Professor in Gratz.



I.

Die Entwickelung der neueren Chemie.

Wer je einen Eisenhohofen besuchte und die gewaltigen Mittel beobachtete, welche in Anwendung gebracht werden müssen, um dem Erze das Eisen abzuringen, wird gewiß nicht das lebhafte Interesse in Abrede stellen, welches ihm die dabei stattfindenden Vorgänge einflößten. Die großen Quantitäten Brennstoff, die er gemeinschaftlich mit den Erzen auf der Gicht eintragen sah, das geschmolzene Eisen, die flüssige Schlacke, welche dagegen periodisch aus dem untersten Theile des Ofens abgelassen wurden, das Geräusch des Gebläses, dessen Thätigkeit unausgesetzt die Kohlen unter Entwickelung eines ungeheuren Hitzegrades verzehrte, und andere Erscheinungen haben ihn gewiß zu manchen Fragen angeregt und in ihm den Wunsch erweckt, sich über dieses Zusammenwirken so verschiedenartiger Stoffe und Kräfte eine genügend-klare Vorstellung machen zu können. Doch wird der Leser, welcher sich etwa in dieser Lage befunden, zugestehen müssen, daß ihn diesesmal oder in anderen ähnlichen Fällen besonders das *Ungewohnte* der betrachteten Erscheinungen anregte, daß, wenn er seine Jugendzeit in der Nähe eines Hohofens zugebracht, dieser ihn kaum zu irgend einer Frage, zum Nachdenken und Forschen aufgefordert hätte. Einleitung.

In einem ganz ähnlichen Verhältnisse befinden sich sehr Viele gegenüber von zahlreichen ebenso wichtigen als merkwürdigen Naturerscheinungen, deren Stetigkeit und allgemeines Auftreten ihnen den Reiz des Ungewöhnlichen und Auffallenden von vornherein benommen, die man fast immer vor sich hat und deßhalb in der Regel ganz gut erklärt zu haben glaubt, wenn man sie mit einem entsprechenden Worte bezeichnet. Welcher von den Lesern dieser Zeilen hat wohl nicht schon in freundlicher oder trüber Stimmung beim Scheine eines flackernden Feuers oder einer glänzend leuchtenden Lampe sich

der schwankenden Fluthung seines Nachdenkens überlassen und in einer kurzen Stunde hunderte von Ideen erwachen, viele Fragen auftauchen gesehen. Doch wird er kaum die Quelle des Lichtes und der Wärme, die ihm eben dienten, gewürdigt haben, auch nur einige Minuten dabei zu verweilen. Es ist eben eine Erscheinung, die er von zartester Kindheit her immer gesehen und benutzt, welche für ihn gar nichts Auffallendes oder Merkwürdiges haben kann, die er sogar leicht erklärlich finden wird. Das Holz im Kamin, das Oel in der Lampe brennen eben, deßhalb leuchten und wärmen sie, das scheint so klar und gewöhnlich, daß man es schwerlich der Mühe werth finden wird, darüber weiter nachzudenken, warum diese Stoffe brennen, und auch dafür ist die Erklärung bereit: sie wurden ja angezündet und müssen also brennen. Wir wollen nun versuchen darzustellen, zu welchen Resultaten der Leser hätte gelangen müssen, falls er sich mit diesen Nichts erklärenden Worten nicht begnügt, sondern sich über die tausendmal beobachtete Thatsache eine weiterreichende Rechenschaft zu geben versucht hätte.

Die Materie ist nicht vergänglich.

Zunächst wird ihm wohl kaum entgangen sein, daß weder Holz noch Oel beständig fortbrennen, daß sie vielmehr nach einiger Zeit verschwinden. Die Lampe ist endlich leer geworden, im Kamine finden wir nur eine kleine Menge Asche, der Brenn- und Leuchtstoff, den wir zur Verwendung brachten, existirt nicht mehr und kann uns also auch nicht weiter dienen. Doch waren sie ja etwas stofflich Gegebenes, ein Theil der uns umgebenden Körperwelt, Materie. Was ist aus ihr geworden? Bei oberflächlicher Beobachtung der Erscheinung können wir uns kaum eine andere Erklärung geben, als, der Brennstoff habe aufgehört zu sein. Gegen diese Annahme sträuben wir uns mit Recht. Sie enthält eine Voraussetzung, welche, consequent durchgeführt, uns im trostlosesten Dunkel läßt. Wir sind dann genöthigt anzunehmen, daß alles Stoffliche zu verschwinden, sich in Nichts aufzulösen vermöge. Wenn wir aber bedenken, wie viele Jahrtausende hindurch Vorgänge, wie die Verbrennung von Holz und Leuchtstoffen, unausgesetzt in Thätigkeit sind, wie undenkbar groß die Masse des Holzes allein ist, welches nur in der von der Geschichte erreichbaren Zeit der Verbrennung anheim fiel, wenn wir andererseits uns in Erinnerung bringen, daß die beständig sich erneuernde Vegetation das Menschengeschlecht unausgesetzt mit Holz, Oel und anderen Brennstoffen versieht, die also in dem Maße wieder zu entstehen scheinen, als sie durch die Verbrennung zerstört wurden: so drängt sich uns die Vermuthung auf, daß die Verbrennung keineswegs eine Vernichtung der Stoffe, welche ihr verfallen, veranlaßt hat, daß diese vielmehr nur ihre Eigenschaften veränderten, sich dabei einer oberflächlichen Beobachtung völlig entzogen, aber ihre Existenz nicht eingebüßt, sogar die Fähigkeit bewahrt haben, wieder unter günstigen Umständen die Form anzunehmen, in welcher sie sich bereits früher befunden. Durch die gewöhnlichsten Beobachtungen und bekanntesten Thatsachen geleitet, wird sich deßhalb wohl bei Jedermann die Ansicht feststellen, daß die Materie, der Stoff, dessen mannigfaltige Formen und Eigenschaften in ihrer Gesammtheit die Natur bilden, etwas Unvergängliches sei, welches wohl seine Beschaffenheit zu verändern, aber nie zu verschwinden, sich in Nichts zu verlieren vermag.

Der Vorgang bei einer Verbrennung.

Wenn wir nun genauer zusehen, was eigentlich bei der Verbrennung des Oeles in der Lampe vorgegangen, so lehren uns sorgfältige, über diesen Gegenstand angestellte Versuche und Beobachtungen, daß unter Vermittelung eines Bestandtheils der Luft aus dem Oele zwei gasförmige Körper ent-

standen sind, die also schon durch ihren Cohäsionszustand von der Substanz, welche zu ihrer Bildung diente, sich wesentlich unterscheiden. Der eine dieser Körper ist Wasserdampf, der andere ein Gas, welches, unter dem Namen Kohlensäure bekannt, sich in der Luft und Erde findet, im Quellwasser gelöst, diesem seinen erfrischenden Geschmack ertheilt, in den Schaumweinen, dem Sodawasser und ähnlichen Getränken durch Druck in reichlicher Quantität verdichtet, deren bekannte beliebte Eigenschaften hervorruft, kurz in keiner Weise an den Körper erinnert, durch dessen Verbrennung es neben Wasser entstanden.

Die Metamorphose des Stoffes.

Solche Umwandlungen, wie wir sie bei der Verbrennung des Leuchtstoffes kurz angedeutet, begegnen dem aufmerksamen Beobachter der Natur in tausendfacher Form und unter den mannigfaltigsten Umständen. Sie beweisen ihm, daß die Materie, wenn sie auch ihrer Menge nach keine Veränderungen erleidet, doch in einer beständigen Metamorphose begriffen ist. Die starre leblose Erdrinde scheint als solche am allerwenigsten derlei Veränderungen unterworfen zu sein. Doch widersteht auch sie nicht dem allmächtigen Drange nach Wechsel, nur geht dieser sehr langsam, somit fast unmerklich vor sich. Bei den Organismen jedoch, deren Entstehung und Entwickelung gewöhnlich innerhalb eines Zeitraumes verlaufen, der uns eine genauere Betrachtung der dabei stattfindenden Umwandlungen des Stoffes gestattet, ist die Metamorphose der Materie deutlicher und rascher, und wir vermögen sie deßhalb auch leichter zu bemerken. Der Same einer Pflanze z. B. entwickelt sich beinahe sichtlich, wenn er in den feuchten Boden gelegt wird, bald haben sich Würzelchen, Samenblätter und der Stiel gebildet, am letzteren entstehen Blätter und Blüthen, deren Farbe und Duft uns oft erfreuen. Die Frucht birgt endlich mehrere Samen von derselben Beschaffenheit und Lebensfähigkeit, wie sie jener zeigte, aus welchem die ganze Pflanze hervorgegangen. Sie entwickeln sich zu neuen Organismen, deren Vorgängerin vor unseren Augen verwelkt, verwest und endlich gänzlich verschwindet. Wer wird wohl glauben können, daß all das Stoffliche, welches sich in der ausgebildeten Pflanze vorfindet, bereits ursprünglich im Samenkorn gewesen? Schon der Umstand, daß mehrere gleiche Samen daraus entstanden und zudem noch die übrigen Theile der Pflanze, beweist uns auf das Unwiderleglichste, daß viel von Außen zugeführt worden sein mußte. Wir bemerken aber keine Spur des Riechstoffes, der sich in der Blüthe eingestellt, des Zuckers, den wir etwa in der Frucht fanden, der grünen Farbe, welche die Blätter schmückte und so vieler anderer Bestandtheile der Pflanze in deren Nähe. Sie konnte diese also unmittelbar nicht aufgenommen haben, weder Boden noch Luft waren im Stande, ihr selbe zu bieten. Diese Stoffe sind also gewiß aus anderen entstanden, die, obwohl in ihren Eigenschaften von den genannten Umwandlungsprodukten unendlich verschieden, doch die Fähigkeit besessen haben, Blüthenduft, Zucker, grünen Farbstoff u. s. w. hervorzubringen. Es ist klar, daß hier von Veränderungen die Rede ist, die sich sehr wesentlich von jenen unterscheiden, welche die Körper durch äußere mechanische oder physikalische Einflüsse erleiden, von denen ausführlicher in den vorhergehenden Abschnitten dieses Buches die Rede war. Wenn wir Eisen durch passende Vorrichtungen in ein sehr feines Pulver verwandeln, dessen Aussehen gar nicht mehr an das bekannte Metall erinnert, so ist doch jedes kleinste Theilchen des Pulvers nichts als Eisen. Haben wir ein Stück Eisen magnetisch gemacht, ist es dennoch Eisen geblieben; ebenso wenn wir einen electrischen Strom hindurchleiten oder es durch eine sehr hohe Temperatur flüssig machen, d. h. schmelzen.

Selbst die Erfahrung des gewöhnlichen Lebens zeigt uns aber, daß das Eisen unter gewissen Umständen alle seine Eigenschaften einbüßen kann. Es rostet z. B., verwandelt sich in einen braunen pulverförmigen Körper, der Anfangs nur die Oberfläche des Metalls bedeckt, nach langer Zeit aber endlich vollkommen an die Stelle des Eisens tritt. Mögen wir den Eisenrost noch so fein vertheilen, so werden wir doch keine Spur von Eisen mehr darin wahrzunehmen im Stande sein. Seine kleinsten Theilchen sind nun unter sich eben so gleichartig, wie es vorhin beim Eisenpulver der Fall war.

Gegenstand der Chemie.

Die tausendfältigen Umwandlungen der Stoffe, welche diese in Folge von theils natürlichen, theils künstlich hervorgerufenen Verhältnissen dergestalt erleiden, daß sie ihre früheren äußeren Eigenschaften einbüßen und mit neuen vertauschen, zu erklären, auf unveränderlich und regelmäßig wirkende Eigenschaften dem Körper zurückzuführen, die Gesetze, nach welchen diese Metamorphosen erfolgen, aufzufinden, ist die **Aufgabe der Chemie**.

Die Ableitung des **Namens** unserer Wissenschaft ist nicht völlig aufgeklärt, die meisten vereinigen sich aber dahin, daß er von dem Worte χημία, welches Egypten bezeichnet, wo sich frühzeitig chemische Kenntnisse entwickelten, abstamme. Doch hat man, seit der Name Chemie allgemein in Gebrauch kam, an denselben keineswegs immer eine gleiche wissenschaftliche Bedeutung geknüpft, sondern verschiedene Bestrebungen, welche jedoch stets mit der Umwandlung der Materie in Zusammenhang standen, damit bezeichnet, wie aus dem Folgenden deutlicher hervorgehen soll.

Chemische Kenntnisse der Alten.

Die alten Culturvölker befanden sich den chemischen Naturerscheinungen gegenüber ganz in derselben Lage, wie der oben erwähnte unbefangen sinnende Leser. Die Gewohnheit unterdrückte bei ihnen jede Anregung, eine Erklärung für Umwandlungen der Form und inneren Beschaffenheit jener Körper zu suchen, mit welchen sie in steter Wechselwirkung standen, so daß ihnen die Metamorphosen derselben nichts Auffallendes darboten. Die wenigen damals bekannten, durch chemische Kräfte aus Naturproducten künstlich erzeugten Gegenstände des Verbrauchs und Verkehrs, wie Glas, gebrannter Thon, einige Farben, Metalle, deren Legirungen u. s. w., vermochten namentlich bei den Griechen nicht, da diese, von der Beobachtung des thatsächlich Gegebenen absehend, die Erklärung der Naturerscheinungen nahezu ausschließlich durch Speculation zu erreichen meinten, dazu anzuregen. Wenn Aristoteles mit seinen vier Elementen, dem Feuer, Wasser, der Luft und Erde alles Materielle zu umschließen und aus den Combinationen dieser Elemente sämmtliche Verschiedenheiten der Körperwelt zu erklären suchte, so war er weit davon entfernt, mit dem Worte Element einen Begriff bezeichnen zu wollen, der im Geringsten an die Bedeutung des Wortes erinnert, welche die neuere Chemie damit verknüpft. Ihm waren die vier Elemente verschiedene Summen bestimmter Eigenschaften, die in mannigfaltigen Verhältnissen sich an einem Körper äußernd, die Beschaffenheit desselben bedingen sollten. Diese Vorstellung wurde durch Jahrhunderte festgehalten und dem jeweiligen Standpunkte der Erfahrung anzupassen gesucht. Es ist klar, daß, wenn die Körper die Fähigkeit besitzen, sich unter verschiedenen Umständen umzuwandeln, ihre ursprünglichen Eigenschaften mit anderen neuen zu vertauschen, dieß nicht nur geschehen wird, wenn die natürlichen Verhältnisse einer solchen Umwandlung günstig sind, sondern auch dann, wenn wir sie künstlich in eine Lage bringen, die eine Metamorphose bedingt, welche nicht eintreten könnte, falls der Körper sich selbst und den natürlichen Einflüssen allein überlassen

Die Elemente des Aristoteles.

worden wäre. So führte zumeist der Zufall die Entdeckung chemischer Kunstproducte herbei. Die Umstände, unter welchen sie entstehen, wurden im Ganzen sehr wenig beachtet, und jene, die sich mit speculativer Naturforschung damals beschäftigten, wendeten diesen scheinbar völlig untergeordneten Verhältnissen nur eine geringe Aufmerksamkeit zu. Eine Ausnahme machten in dieser Beziehung nur die Egyptier, deren Priester sich in der Kunst, die Körper chemischen Umwandlungen zu unterwerfen, größere Fertigkeit verschafft, diese aber unter dem Schutze ihrer Mysterien vor dem Uneingeweihten sehr geheim gehalten zu haben scheinen. Von den eigentlichen Kenntnissen, welche unter den Priestern Egyptens verbreitet waren, liegen uns nur sehr dürftige Nachrichten vor, aus denen jedoch mit vieler Wahrscheinlichkeit hervorgeht, daß die chemische Metamorphose ihnen einestheils nur zur Herstellung gewisser vielseitig angewendeter Producte, wie Glas und Farben, anderentheils aber als Gegenstand mystischer Deutung diente. Ein Versuch, die ihnen bekannten Thatsachen zu erklären, auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen, scheint damals noch nicht gemacht worden zu sein. Von Egypten aus verbreiteten sich die dort gesammelten chemischen Erfahrungen durch reisende Philosophen nach Griechenland und weiter zu den Römern, ohne jedoch, wie bemerkt, bei diesen beiden Culturvölkern eine besondere Beachtung zu finden.

Chemie in Egypten cultivirt.

Die Unterjochung Egyptens durch die Araber machte den wissenschaftlichen Fortschritten der alexandrinischen Schule, welche als Centralpunkt der geistigen Bestrebungen Egyptens und Griechenlands durch Jahrhunderte die größte Bedeutung hatte, ein Ende. Obwohl die Araber zur Zeit ihrer Eroberungskriege die Pflege der Wissenschaften, wie leicht erklärlich, ganz vernachlässigten, erhielten sich unter ihnen dennoch Kenntnisse und Sinn für Wissenschaft rege, und es waren namentlich die während ihrer Eroberungszüge unterworfenen Culturvölker, denen es zu verdanken ist, daß, nachdem die Araber mehrere Reiche gegründet und sich darin befestigt hatten, neben anderen auch die chemischen Bestrebungen bei ihnen einen fruchtbaren Boden der Fortbildung fanden.

Chemische Kenntnisse der Araber.

Zu dieser Zeit ohngefähr machte sich eine Richtung in der Entwickelung der Chemie geltend, welche, obwohl an sich ganz verfehlt, und jeder wahrhaften Grundlage entbehrend, dennoch für unsere Wissenschaft von den bedeutendsten Folgen war, da sie im hohen Grade die chemischen Kenntnisse und Erfahrungen erweiterte. Es ist dieß die Alchemie, welche durch mehrere Jahrhunderte die Thätigkeit aller jener in Anspruch nahm, welche sich überhaupt mit chemischen Erscheinungen zu beschäftigen veranlaßt wurden. Bekanntlich umfaßt die Alchemie die Lehre von der Umwandlung unedler Metalle in Gold, und es ist begreiflich, daß zu einer Zeit, wo die chemischen Erfahrungen noch so dürftig verbreitet, ihre Mittheilung so erschwert, endlich Aberglaube und Habsucht gleich mächtig waren, wo die wenigen Kenntnisse, die man besaß, die Annahme, daß sich Gold aus anderen Stoffen erzeugen lasse, eher zu rechtfertigen als zu widerlegen schienen, die Alchemie so viele Anhänger fand, die sich selbst durch spätere Entwickelungsperioden der Chemie fortpflanzten, ja noch, obwohl spärlich, auch in unserem erleuchteten Jahrhundert auftauchten.

Entwickelung der Alchemie.

Um den Standpunkt, welchen die Alchemie einnahm, auffassen, ihren Einfluß auf unsere Wissenschaft erklären zu können, ist es nöthig, einige der wichtigeren chemischen Thatsachen, welche den Vorgängern der Alchemisten bereits bekannt waren, etwas näher zu betrachten. Sie sollen zugleich den Faden vorstellen, an dem wir uns durch die verschiedenen Irrthümer finden

Kenntnisse der Alchemisten.

können, welche die Erkenntniß der Wahrheit durch so lange Zeit hintanhielten. Aus den zu Anfang dieser Zeilen niedergelegten Andeutungen über die Verbrennung geht deutlich hervor, daß das Feuer an sich nichts Materielles, sondern nur eine die chemische Verwandlung des Stoffes zuweilen begleitende Erscheinung sei. Wie Aristoteles, und mit ihm viele andere Naturphilosophen, das Feuer für etwas Materielles nahmen und in dieser Hinsicht dem Wasser, der Luft und der Erde, denen man das Stoffliche in ihrem Wesen nicht absprechen kann, gleichstellten, wurde oben mitgetheilt. Natürlich hielten es die Philosophen für überflüssig, das Feuer zu erklären; es war ihnen etwas Gegebenes, welches sie gerade im Gegentheil glaubten zur Erklärung anderer Erscheinungen und Verhältnisse benützen zu dürfen. Doch konnte ihnen und besonders jenen, welche sich praktisch mit der Herstellung chemischer Kunstproducte befaßten, die Wirkung des Feuers oder vielmehr der dadurch hervorgerufenen hohen Temperatur, nicht entgehen. Man wußte Kupfer, Zinn, Blei und später Eisen durch Schmelzen aus den Erzen zu gewinnen und diese Metalle mittelst des Feuers in andere Substanzen umzuwandeln. Daß beim Glühen derselben an der Oberfläche Körper entstehen, die in ihren Eigenschaften gar nicht mehr an die Metalle, aus welchen sie sich bildeten, erinnern, war eine damals allgemein bekannte Thatsache. Auch die Eigenschaften der so gewonnenen Producte, die Verschiedenheit derselben je nach der Natur des benützten Metalles, blieben nicht verborgen. Man wußte, daß unter den bezeichneten Umständen Kupfer ein schwarzes, Zinn ein weißes, Blei ein gelbes oder bei längerem Erhitzen hellrothes, das Eisen ein dunkelbraunes Product lieferten, daß, wenn man die Einwirkung des Feuers hinreichend fortsetzte, die Metalle endlich vollständig in die bezeichneten Körper übergingen und keine Spur derselben unverändert zurückblieb. Ebenso hatte man beobachtet, wie Kupfer, Zinn und Blei in passenden Verhältnissen zusammengeschmolzen ein metallisches Product lieferten, welches sich wesentlich von jedem der zugesetzten Metalle unterschied und für viele Zwecke tauglicher erschien, als das Kupfer oder Zinn für sich. Unter den in frühester Zeit gekannten Metallen sind Silber und Gold zu nennen. Da ersteres häufig, das Gold nahezu immer, natürlich im gediegenen Zustande angetroffen und deßhalb leicht erkannt und mechanisch abgeschieden wird, waren sie lange, bevor man andere Metalle gewinnen lernte, bekannt und wegen ihres Glanzes, der schönen Farbe, Geschmeidigkeit und Unveränderlichkeit von jeher sehr geschätzt. Die Unveränderlichkeit beim Gebrauch, so wie im Feuer, welche den Namen edle Metalle im Gegensatze zu den unedlen, wie Eisen, Blei, entstehen und allgemein annehmen ließ, führte natürlich zu Versuchen, diesen Unterschied zu erklären. Es läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln, von wem die solchen Versuchen einer Erklärung endlich entsprossenen Ansichten

Theorie über die Natur der Metalle.

über die Natur der Metalle zuerst aufgestellt wurden. Doch finden wir sie im 8ten Jahrhundert unserer Zeitrechnung ziemlich allgemein angenommen, und besonders von *Geber*, dem berühmtesten der arabischen Chemiker, ausgesprochen. *Darnach wären alle Metalle aus Quecksilber und Schwefel zusammengesetzt.*

Diese beiden Stoffe waren zu jener Zeit schon bekannt, was aber ihr Vorhandensein in den Metallen anlangt, so neigte man sich allgemein der Ansicht zu, daß Schwefel und Quecksilber, welche in verschiedenen Verhältnissen vereint die Metalle bilden, von den gewöhnlichen isolirten Körpern dieses Namens verschieden sind, daß sie sich in den Metallen reiner, mit

etwas veränderten Eigenschaften, mehr oder weniger fixirt u. s. w. vorfinden. Nachdem diese Ansicht als die richtige anerkannt war, konnte es nicht ausbleiben, daß sich die Aufmerksamkeit aller der Metallverwandlung zuwandte, und das Streben, aus unedlen Metallen Gold zu erzeugen, sämmtliche Chemiker ausschließlich beschäftigte. So entstand die Alchemie. Das Zeitalter, in welchem die alchemistischen Bestrebungen völlig vorherrschten, die Gewinnung künstlichen Goldes das einzige Ziel aller abgab, welche sich mit chemischen Erscheinungen befaßten, ist reich an den abenteuerlichsten Ausgeburten des Aberglaubens, willkührlichen und unwillkührlichen Betrugs, der Habsucht und des damals überall vorherrschenden Mysticismus. Alles Streben vereinigte sich dahin, den sogenannten Stein der Weisen zu finden, dem man die Eigenschaft zuschrieb, mit unedlen Metallen zusammengeschmolzen, eine große Menge derselben in Gold zu verwandeln. Viele gaben vor, ihn gefunden zu haben, andere gestanden offen, daß dieses ihnen noch nicht gelungen, daß sie sich aber der Vollendung des großen Werkes beträchtlich genähert haben, keiner bestritt die Möglichkeit desselben, alle aber befleißigten sich in ihren Schriften einer völlig geheimnißvollen mystischen Sprache, verhüllten die einfachsten Vorgänge durch allegorische Bezeichnungen, und suchten damit ihre Unfähigkeit oder das vermeintlich Errungene vor dem Uneingeweihten zu verbergen. So reich die Periode der Alchemie an Verirrungen aller Art ist, so läßt sich dennoch nicht läugnen, daß diese Bestrebungen den nachfolgenden Chemikern den großen Vortheil einer bedeutenden Anzahl beobachteter Thatsachen übermittelten, welche als Grundlage weiterer Forschungen zu dienen geeignet waren, denn die Alchemisten sahen sich angewiesen, die ihnen von der Natur gebotenen Stoffe mit mehr Aufmerksamkeit aufzusuchen und zu beobachten, als dies früher der Fall gewesen. Dabei war es unmöglich, daß die vielseitigen Versuche, denen man verschiedene Körper unterwarf, nicht zuweilen zufällig Umwandlungsproducte lieferten, deren Eigenschaften die Aufmerksamkeit der Alchemisten fesselte und welche zu bereiten diese lehrten und lernten, um sie gelegentlich zu ihrem Specialzweck benützen zu können. Mit der Erweiterung der Kenntniß und Zahl solcher neu aufgefundenen Stoffe hielt die Ausbildung in der Fertigkeit, die Körper bestimmten Umwandlungen zu unterwerfen und die hierzu geeigneten Behelfe handzuhaben, gleichen Schritt.

Der Stein der Weisen.

Allmählig begann sich eine neue Vorstellung über die Beschaffenheit des so emsig gesuchten Steines der Weisen herauszubilden, nach welcher er nicht nur gemeine Metalle in Gold umzuwandeln, sondern auch sämmtliche Krankheiten zu heilen, als Universalmedicin zu wirken vermöge.

Der Stein der Weisen als Universalmedicin.

Wenn durch diesen Glauben auch der Eifer, nach diesem wundervollen Mittel mit allen Kräften zu suchen, eher gesteigert als abgekühlt werden mußte, so konnte es nicht fehlen, daß man hie und da versuchte, die bereits zu einer ziemlich großen Zahl angewachsenen, damals bekannten chemischen Producte, nicht nur zu dem großen Werke, sondern auch als Heilmittel zu verwenden. Die deutlichen, zuweilen auch in der That ganz wohlthätigen Wirkungen, welche man bei der Anwendung gewisser Präparate zu Heilzwecken zu beobachten Gelegenheit hatte, waren Veranlassung, die bisher ausschließlich als Medicin verwandten Pflanzen und thierischen Producte wenigstens theilweise zu verlassen und sich chemischer Präparate zu bedienen.

Die Chemie wird ein Theil der Medicin.

Zugleich machte sich die Ansicht immer mehr geltend, daß die Gesundheitsverhältnisse des Organismus auf ganz ähnlichen Vorgängen beruhen,

wie die Umwandlungen der Stoffe durch die künstlich eingeleiteten chemischen Processe. Daraus entwickelte sich ein eigenes medicinisches System, welches, auf die eben mitgetheilte Hypothese gebaut, die Fortbildung der Chemie größtentheils den Aerzten zuwendete, während man die Auffindung des Steines der Weisen mehr Abentheuerern überließ, ohne jedoch dessen Existenz im Geringsten bezweifeln zu wollen. Die Metallverwandlung wurde seit dem Beginne des 16ten bis etwa zur Hälfte des 17ten Jahrhunderts wohl als möglich anerkannt, aber sie bildete nicht mehr die alleinige Aufgabe der Chemiker, deren Mehrzahl vorzugsweise der medicinischen Chemie huldigend, die Wirkung der chemischen Producte auf den menschlichen Körper zu erklären und mit den Krankheitserscheinungen in Zusammenhang zu bringen strebte. So wurde die Chemie besonders auf Anstoß des berüchtigten Theophrastus Paracelsus ein Theil der Medicin und ihr Auftreten als selbständige Wissenschaft wieder auf einige Zeit hinausgeschoben, denn die Aufmerksamkeit der medicinischen Chemiker war keineswegs der Erklärung chemischer Erscheinungen als solchen gewidmet, sondern wurde diesen nur in sofern zugewendet, als man damit Krankheitsformen erklären und dieselben durch Anwendung chemischer Präparate heilen zu können glaubte. Nichts desto weniger ist diese Zeit, wo die medicinische Richtung in der Chemie völlig vorherrschte, für unsere Wissenschaft von großem Vortheil gewesen, da sich jetzt die Aerzte, denen im Allgemeinen eine größere Bildung und Naturkenntniß zur Seite stand, als den Alchemisten, mit vielem Interesse der Beobachtung chemischer Erscheinungen widmeten. Die zahlreichen Wahrnehmungen, welche die medicinischen Chemiker mit unbefangenerem Auge als die vor ihnen oder gleichzeitig thätigen Alchemisten prüften, erstreckten sich nun auch schon mehr als in den früheren Zeitaltern auf andere Zweige der Anwendung, und viele wesentliche Verbesserungen in der Anfertigung gewisser Producte, wie Glas, Farben u. s. w., sowie in der Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen, datiren aus dieser Periode. In dem Zeitalter der medicinischen Chemie erfuhren die Ansichten über die wichtigeren, damals bekannten chemischen Erscheinungen mancherlei Modificationen. So, wenn wir uns wieder der Metalle erinnern wollen, welche die Alchemisten aus Quecksilber und Schwefel bestehen ließen, nehmen die neueren Chemiker neben diesen beiden Stoffen noch einen dritten Körper darin vorhanden an, den sie als Salz bezeichnen, ohne sich aber über die Eigenschaften dieser drei Substanzen im isolirten Zustande einigen zu können, denn auch die medicinischen Chemiker verstehen unter diesen drei Namen, als Bestandtheile der Metalle gedacht, keineswegs gewöhnliches Quecksilber, Salz oder Schwefel.

Die Chemie erhebt sich zu einer selbständigen Wissenschaft.

Das Fortschreiten der Medicin, zahlreiche chemische Erfahrungen, welche sich mit den herrschenden Ansichten nicht in Einklang bringen ließen, veranlaßten in der Hälfte des 17ten Jahrhunderts, daß vorurtheilsfreie, mit umfassender Beobachtungsgabe ausgestattete Männer, wie namentlich zunächst Boyle, sich nicht mehr damit begnügten, chemische Umwandlungen kennen und für medicinische Zwecke benutzen zu lernen, sondern die alle hieher gehörigen Erscheinungen zu erklären, auf gemeinsame Ursachen zurückzuführen suchten. Von da an erhob sich die Chemie zu einer selbständigen Wissenschaft, welche, wenn sie auch einen großen Einfluß auf andere Wissenschaften, sowie Künste und Gewerbe sich bis heute bewahrte, doch immer mehr den Charakter einer Naturwissenschaft im vollsten Sinne dieses Wortes annahm. Die nun folgende Entwickelungsperiode der Chemie war noch sehr reich an

Irrthümern, von welchen wir die wichtigsten, da sie für uns immerhin lehrreich genug sind, vorerst an den wenigen, bisher in diesen Zeilen berührten chemischen Erscheinungen erläutern wollen.

Daß die Chemiker schon in den früheren Jahrhunderten sich zu der Annahme veranlaßt fühlten, die Körper seien nichts völlig Homogenes, sondern aus Stoffen von verschiedener Beschaffenheit zusammengesetzt, wurde schon mehrmals berührt. Die Vorstellungen über diese Bestandtheile waren aber unklar und hingen unmittelbar mit den Zwecken zusammen, welche die Chemiker durch Beobachtung chemischer Vorgänge zu erreichen strebten. Die bereits Seite 448 erwähnte Umwandlung der Metalle beim Erhitzen erregte neuerdings die Aufmerksamkeit der Chemiker um so mehr, als sie aus Stoffen, welche mit den Metallen nichts gemein zu haben schienen, durch verschiedene Verfahrungsweisen Körper erhielten, welche mit den erwähnten Producten in ihren äußeren und chemischen Eigenschaften die größte Aehnlichkeit zeigten. So, um hier vorläufig nur eines Falles zu erwähnen, war seit undenklichen Zeiten bekannt, daß durch Brennen von Kalksteinen ein Körper erhalten werde, der, mit Wasser zusammengebracht, unter Erhitzung, zu einem weißen Pulver zerfällt, welches wohl jeder Leser als gelöschten Kalk kennt. Obgleich durch seine Farbe von den Umwandlungsproducten des Eisens, Bleies u. s. w. verschieden, entging den damaligen Chemikern doch nicht, daß diese Substanzen in ihrem chemischen Verhalten viele Analogie darbieten, weshalb man die unmittelbar aus den Metallen gewonnenen derartigen Körper als Metallkalke zu bezeichnen pflegte. Man beobachtete längst, daß diese Kalke und einige andere entsprechende Substanzen, deren Ursprung von den Metallen man indeß weder nachzuweisen vermochte, noch überhaupt vermuthete, die Fähigkeit besitzen saure Körper abzustumpfen und ihnen ihre hervorragendste Eigenschaft, den sauren Geschmack, zu nehmen. Die älteren Chemiker kannten schon mehrere Körper, welche sich von den anderen durch ihre saure Beschaffenheit unterschieden und von ihnen als **Säuren** bezeichnet wurden, ein Ausdruck, der auch jetzt noch auf diese Reihe von Verbindungen angewendet wird. Als Säuren kannte man namentlich die im Essig enthaltene Essigsäure, die Salpetersäure (Scheidewasser), die Schwefelsäure (Vitriolöl), die schweflige Säure und manche andere. Kommen diese Säuren mit einem Metallkalk in Berührung, so verschwinden die Eigenschaften beider Stoffe und es entstehen häufig lösliche krystallisirbare Verbindungen, welche man als **Salze** bezeichnete. Unter diesem Namen wurden überhaupt die Producte der gegenseitigen Einwirkung von Säuren und Metallkalken zusammengefaßt. Es war der Beobachtung nicht entgangen, daß manche Säuren und Metallkalke bei ihrer Bildung durch Erwärmen unter Feuererscheinung entstehen. Das lebhafte Leuchten und Funkensprühen des weißglühenden Eisens begleitet die Bildung des Hammerschlags, eines Metallkalkes, auch Blei, Zinn und andere Metalle verbrennen und liefern dabei Metallkalke. Dagegen ist es eine allgemein bekannte Erscheinung, daß angezündeter Schwefel mit blaßblauer Flamme, unter Verbreitung eines erstickend sauren Geruches, verbrennt. Er verwandelt sich dabei in einen gasförmigen Stoff, die schweflige Säure, welche vom Wasser reichlich aufgenommen wird und so eine Lösung bildet, die alle Eigenschaften einer Säure besitzt. Das Streben der wissenschaftlichen Chemiker war nun darauf gerichtet, diese und viele andere ähnliche Erscheinungen genügend zu erklären und die Vorstellungen über die Zusammensetzung der verschiedenen Körper auf einfache, naturgemäße Grundsätze

Die Metallkalke.

Säuren und Salze.

zurückzuführen. Daß viele chemische Umwandlungen sich von einer Verbrennung oder einem ganz ähnlichen Vorgang ableiten lassen, wurde damals schon als richtig erkannt, und es war daher vor allem wichtig, die Verbrennung selbst zu erklären, welcher sich die Aufmerksamkeit der Chemiker nun besonders lebhaft zuwendete. Das Streben, die bekannten Thatsachen durch eine entsprechende, alle Erscheinungen umfassende Hypothese zu erklären, fand durch Stahl endlich einen bestimmten Ausdruck, indem dieser ausgezeichnete Chemiker eine Theorie aufstellte, welche bei dem damaligen Entwickelungszustande unserer Wissenschaft den erwähnten Anforderungen gerade genügte, obwohl sie an sich völlig unrichtig war. Zu jener Zeit, als Stahl seine Ansichten entwickelte, war die alte Vorstellung über die Natur des Feuers schon längst verlassen. Man hatte das Feuer als eine Erscheinung erkannt, die sich wohl an der Materie äußert, aber mit dieser selbst nicht verwechselt werden darf. Der Umstand, daß die Körper durch Verbrennen zerstört werden, legte die Vermuthung nahe, daß sich dabei die verbrennenden Substanzen in einfachere Stoffe zerlegen, gewissermaßen auflösen. Somit erschien die Verbrennung als eine Art Zersetzung, und es war natürlich anzunehmen, daß alle brennbaren Stoffe bei der Verbrennung eine ganz analoge Zerlegung erleiden, da die Erscheinung selbst mit wenigen unwesentlichen Abänderungen immer dieselbe war, stets sich dabei Licht und Wärme entwickelten. Diesen schon durch Becher angedeuteten Ansichten verlieh Stahl in seiner phlogistischen Theorie einen klaren Ausdruck. Er nahm an, daß in allen brennbaren Stoffen ein gemeinschaftlicher Bestandtheil, das Phlogiston, enthalten sei. Beim Verbrennen entweiche dieses und bedinge dadurch die Feuererscheinung. Letztere müsse um so lebhafter sein, je mehr Phlogiston der brennbare Körper enthalte. Die Verbrennung ist also nach Stahl ein Zerfallen des brennenden Körpers in eine unzerlegliche Substanz und in das Phlogiston. Die Metalle betrachtete man nach dieser Theorie somit als aus Phlogiston und einem Metallkalk zusammengesetzt. Wird das Metall erhitzt, so giebt es unter Feuererscheinung das Phlogiston ab, und der Metallkalk bleibt zurück. Die längst bekannte Thatsache, daß die Metallkalke, mit Kohle erhitzt, wieder in Metalle übergeführt werden, ließ sich leicht durch einen großen Gehalt an Phlogiston in der Kohle erklären, welche einen Theil davon an die Metallkalke abgiebt und diese wieder in die Metalle umwandelt. Die Verbrennung nicht metallischer Körper, wie Schwefel und ähnliche, wurde in derselben Weise erklärt. Nach der Theorie besteht der Schwefel aus schwefliger Säure und Phlogiston. Ueber die Eigenschaften des Letzteren im unverbundenen Zustande konnte man sich jedoch nicht einigen. Während manche im feinen Ruß das reine wahre Phlogiston zu erkennen meinten, da dieser beim Erhitzen schnell und ohne Rückstand verbrennt, glaubten andere dem Phlogiston eine mehr unmaterielle Beschaffenheit zuschreiben und selbes als eine Art Feuermaterie bezeichnen zu müssen.

Das Phlogiston.

Zur Verbrennung ist Luft nöthig.

Wir haben bis jetzt einer sehr wichtigen Thatsache nicht Erwähnung gethan, welche schon den alten Chemikern bekannt, von den Neuern, namentlich den Anhängern des Phlogistons, nicht geläugnet, von allen aber völlig mißdeutet oder, als unwesentlich, ohne Beachtung geblieben war. Die Verbrennung und Verkalkung findet nur in offenen Gefäßen, d. h. bei Zutritt der Luft, statt. Obwohl man später von der Existenz der atmosphärischen Luft und manchen ihrer hervorragendsten Eigenschaften ziemlich genaue und richtige Kenntnisse besaß, so wendete man dem Einflusse der Atmosphäre bei

dem Verbrennungsprocesse nur wenige Aufmerksamkeit zu. Einige Vorgänger Stahl's hatten sich bei Erklärung dieser Thatsache ihrer wichtigen Deutung mehr genähert als letzterer, welcher der Luft ganz einfach die Rolle zuwies, das entweichende Phlogiston aufzunehmen, womit allerdings viele Erscheinungen im besten Einklange zu stehen schienen. Man wußte z. B. längst, daß, wenn Metalle unter einer Decke von flüssiger Schlacke, Glas u. dergl. geschmolzen werden, trotz der großen Hitze keine Verkalkung derselben eintritt. Stahl's Annahme erklärte dieß einfach, denn die schmelzende Schlacke hinderte das Phlogiston, in die Luft zu entweichen. Dieses mußte deshalb mit dem Metallkalke verbunden bleiben, und letzterer konnte somit nicht zum Vorschein kommen. Wo also Luft fehlte, mangelte dem Phlogiston das Mittel sich zu verflüchtigen, und deshalb konnte auch keine Verbrennung stattfinden.

Obwohl die eben kurz erörterte Theorie von manchen Chemikern bekämpft und als unrichtig bezeichnet wurde, waltete sie doch ihrer Einfachheit und Klarheit wegen lange Zeit vor, und die hervorragendsten Fachgenossen huldigten ihr, während sie zugleich durch Erforschung neuer Thatsachen dieselbe zu stützen und zu erweitern suchten. Um die Mitte des 18ten Jahrhunderts wendete sich die Aufmerksamkeit einem sehr wichtigen Theile unserer Wissenschaft zu, der Erforschung der gasförmigen Körper, welche bis dahin ganz vernachlässigt war.

Schon in der früheren Periode entging es den Chemikern nicht, daß sich bei Einwirkung gewisser Stoffe auf einander gasförmige Körper zeigen. Die Gase.
Man berücksichtigte diese aber wenig und fand in dem erwähnten Verhalten nur einen interessanten Beweis, daß in den festen Stoffen Luft gebunden ist, welche unter Umständen wieder entweichen könne. Man hatte beobachtet, daß mit Wasser verdünntes Vitriolöl bei Berührung mit Eisen die Entwickelung eines Gases veranlaßt, welches brennbar ist und sonst noch in mancher Hinsicht sich von der Luft unterscheidet. Durch Uebergießen von Kreide mit Essig oder anderen Säuren erhielt man unter lebhaftem Aufbrausen eine Luftart, welche durch ihren säuerlichen Geruch, das größere specifische Gewicht und die Unfähigkeit, die Verbrennung zu unterhalten, sich von der atmosphärischen Luft wesentlich unterschied und als identisch mit jener erkannt wurde, die an verschiedenen Punkten auch aus der Erde strömt, in den Sauerbrunnen sich reichlich vorfindet, auch bei der Weingährung auftritt u. s. w. Daß sich in den Steinkohlengruben unathembare oder explodirbare Luftarten vorfinden, war ebenfalls bekannt, doch betrachtete man alle diese Gase als wesentlich aus gewöhnlicher Luft bestehend, in welcher nur gewisse nicht näher bestimmte Verunreinigungen die beobachteten Veränderungen der Beschaffenheit veranlassen.

In Bezug auf die atmosphärische Luft bringen wir zunächst in Erinnerung, wie die Bedeutung derselben für die Verbrennung und Verkalkung von der phlogistischen Theorie dahin aufgefaßt wurde, daß die Luft das Phlogiston, welches aus den brennenden Körpern entweicht, aufnehme. Man beobachtete oft, wie die Luft nicht immer die Verbrennung begünstige, ja, daß sie eine Beschaffenheit annehmen könne, welche den sonst gut brennbaren Stoffen diese Eigenschaft ganz raubt. Brachte man z. B. unter eine Glocke, die mit Luft gefüllt und mit Wasser abgesperrt war, eine brennende Kerze, so wurde die Flamme derselben allmälig trübe und nach einiger Zeit erlosch sie vollständig. Wurden 2 Kerzen gleichzeitig in denselben Raum gebracht, so war die Erscheinung die gleiche, nur trat sie in der halben Zeit wie früher, wo nur eine Kerze zum Versuche diente, ein. Man erklärte dieß einfach dadurch, daß die Luft sich endlich mit Phlogiston ganz gesättigt

hatte, somit nichts weiter davon aufzunehmen vermochte, weßhalb das Brennen darin unmöglich wurde. Wenn nun die beiden Kerzen, wie natürlich, doppelt so viel Phlogiston abgaben, als Eine, so mußte das Erlöschen schon in der halben Zeitfrist erfolgen. Eine andere Beobachtung über das Verhalten der Luft, welche öfters gemacht wurde, ohne vorläufig eine genügende Erklärung zu finden, bezieht sich auf das Verkalken der Metalle. Man fand, daß die Luft dabei ihr Volum verrindere. Schon Boyle bemerkte, wie Zinn oder Blei in verschlossenen Gefäßen erhitzt, sich nur theilweise verkalkten und daß die Menge des Metallkalkes um so größer war, je mehr Luft das Gefäß faßte. Nach dem Oeffnen desselben wurde immer ein lebhaftes Einströmen von Luft bemerkt, woraus sich mit Recht schließen ließ, daß ein Theil der Luft weggenommen, in den starren Zustand übergeführt worden war. Diese wichtige Erscheinung ließ man jedoch unbeachtet oder erklärte sie mit der Annahme, der Metallkalk habe erst nach seiner Entstehung Luft aufgenommen. Daß diese unmittelbar zur Bildung des Metallkalkes dienen dürfte, fiel Niemandem bei.

Die Luft vermindert bei der Verkalkung ihr Volum.

Lavoisier's Verdienst.

Die Metalle werden bei der Verkalkung schwerer.

Eine noch wichtigere Erscheinung, welche schon vielfältig beobachtet, bis dahin aber nie einer näheren Prüfung oder Erklärung gewürdigt wurde, soll uns zunächst beschäftigen, weil aus ihrer richtigen Deutung endlich nach Jahrhunderte langem Ringen die Feststellung des wahren Grundes der chemischen Umwandlung hervorging. Obwohl nämlich die Aufmerksamkeit der älteren Chemiker diesen Verhältnissen nie speciell zugewendet war, konnte es doch nicht unbemerkt bleiben, daß der beim Erhitzen des Metalles an der Luft gebildete Metallkalk ein größeres Gewicht habe, als das ursprünglich angewendete Metall. Man hielt diese Erscheinung für ganz unwesentlich und glaubte sie mit der Annahme hinreichend erklärt, daß von dem Kalke wägbare Feuermaterie aufgenommen worden sei. Diese und ähnliche Deutungen genügten den damaligen Chemikern vollkommen und die Gewichtszunahme bei der Verbrennung erschien allen als eine Thatsache von sehr untergeordnetem Belang.

Entdeckung des Sauerstoffes.

Im Jahre 1774 beobachtete Priestley, daß man durch starkes Erhitzen von aus Quecksilber mittelst langem Erwärmen dargestelltem Quecksilberkalk ein farbloses Gas erhält, während wieder metallisches Quecksilber zum Vorschein kommt. Das Gas, welches so gewonnen worden, war farb- und geruchlos und alle Verbrennungen zeigten darin eine weit größere Lebhaftigkeit, einen viel helleren Glanz, als in der gewöhnlichen Luft. Priestley schloß aus diesem Umstande, daß das fragliche Gas keine Spur Phlogiston enthalte, daher beim Verbrennen diesen hypothetischen Körper mit großer Begierde unter lebhafter Feuererscheinung aufnehme und nannte es deßhalb: dephlogistisirte Luft. Fast gleichzeitig entdeckte der berühmte schwedische Chemiker Scheele denselben Körper und lehrte ihn durch Erhitzen von Braunstein darstellen. Lavoisier, von Priestley auf dieses Gas aufmerksam gemacht, beschäftigte sich damit besonders eifrig, und seinem Genie gelang es, die bis dahin bekannt gewordenen Thatsachen endlich in einer einfachen und zugleich richtigen Erklärung zusammenzufassen, welche, damals die antiphlogistische Theorie genannt, auch jetzt noch bis auf geringe durch die immense Erweiterung der Wissenschaft bedingte Modificationen als völlig richtig anerkannt wird.

Fassen wir die im Vorhergehenden hervorgehobenen hieher gehörigen Thatsachen nochmals kurz zusammen und wir werden sehen, daß diese zu einer

Verwerfung des bisher anerkannten Phlogiston drängten, welches endlich nach hartnäckigem Widerstand seiner Vertheidiger, unter welchen sich namentlich Priestley durch seine Beharrlichkeit auszeichnete, den klaren beweisenden Thatsachen, welche Lavoisier auffand und erläuterte, weichen mußte.

Die gewöhnliche Verbrennung findet nur an der Luft statt.

Metalle, welche durch Erhitzen an der Luft verkalkt werden, nehmen dabei an Gewicht zu und das Volum der Luft vermindert sich.

Der Antheil der Luft, welcher zurückbleibt, ist zur weiteren Unterhaltung des Verbrennungsprocesses nicht geeignet.

In der Luft befindet sich demnach eine Gasart, welche für sich im unvermengten Zustande die Verbrennungserscheinungen in hohem Grade hervorruft und viel glänzender zeigt, als die gewöhnliche Luft. Es ist dies Priestley's dephlogistisirte Luft.

Auf diese wohlbeobachteten Daten hin stellte Lavoisier nun Versuche an, welche ihm über die Rolle, die der Luft bei der Verbrennung und Verkalkung zukommt, Aufschluß geben sollten, was auch eintrat, da seine Experimente den Character wahrhaft wissenschaftlicher Versuche an sich trugen.

Es sei uns gestattet, hier letzteren Ausdruck einer näheren Erörterung zu unterziehen. Jede Naturwissenschaft hat die Aufgabe, eine Reihe von Erscheinungen auf wenige Ursachen zurückzuführen, aus den deutlich erkannten Eigenschaften der Materie, welche dann häufig auch Kräfte genannt werden, zu erklären und die nie fehlende Regelmäßigkeit und Unveränderlichkeit der Wirkung der Kräfte durch einen allgemeinen Satz verständlich wieder zu geben. Ein solcher Ausdruck wird dann gewöhnlich ein Naturgesetz genannt. Schon 150 Jahre vor Lavoisier prüfte Boyle das Verhalten des Zinnes und Bleies bei ihrer Verkalkung in der Weise, daß er eine gewogene Menge dieser Metalle in einem lufthaltenden Gefäße von Glas einschmolz und dann über der Weingeistlampe lange erhitzte. Es trat bald Verkalkung ein und nachdem sich eine gewisse Quantität des Metallkalkes gebildet hatte, hörte diese Umwandlung auf. Beim nachherigen Oeffnen des Gefäßes strömte lebhaft Luft ein, zum Beweise, daß sie im Inneren eine Raumverminderung erlitten, und das Gemenge von Metallkalk und Metall wog schwerer, als das reine Metall vor dem Versuche. So wichtig diese Erscheinung und manche andere ähnliche auch waren, so wenig hinderten sie die später erfolgte Aufstellung der phlogistischen Theorie, welche annahm, daß bei der Verkalkung der Metalle etwas fortgehe, wobei doch eine Verminderung des Gewichtes eintreten müßte, während im Gegentheile eine Vermehrung desselben stattfand. Lavoisier stellte nun einen ganz ähnlichen Versuch an, nur beobachtete er die Vorgänge dabei genauer. Auch er verschloß Zinn in ein Glasgefäß, wog aber die ganze Vorrichtung vor dem Erhitzen sorgfältig und nachdem die Bildung des Metallkalkes erfolgt war, wieder. Es zeigte sich nun, daß das Gewicht bei diesem Vorgange keinerlei Veränderung erlitten hatte; es konnte also von außen nichts zu dem Metalle getreten sein. Nachdem dann das Gefäß geöffnet worden, strömte die Luft gewaltsam hinein, und nun stellte sich eine Gewichtsvermehrung ein, die fast genau gleich war jener, welche das zum Theil verkalkte Metall während des Versuches erfahren, wie sich leicht nachweisen ließ, indem das Zinn und der Zinnkalk herausgenommen und gemeinschaftlich gewogen wurden. Daraus konnte Lavoisier nun den Schluß ziehen, daß das Zinn bei seiner Verkalkung keineswegs etwas abgegeben, sondern im Gegentheile einen wägbaren Körper aus der Luft

aufgenommen, sich mit diesem chemisch verbunden habe, und da die rückständige Luft bei ihrer Untersuchung sich als jenen Bestandtheil erwies, der die Verbrennung und Verkalkung nicht zu unterhalten vermag, so war damit bewiesen, daß sich das Metall mit der dephlogistisirten Luft verbunden. Indem Lavoisier die Körper in solcher Weise in Verhältnisse brachte, welchen sie unter völlig natürlichen Umständen nicht zugeführt worden wären, und zugleich durch umsichtig angewendete Behelfe sich die Möglichkeit verschaffte, das, was dabei vorging, zu erkennen, mit Zuverlässigkeit zu beobachten, stellte er einen Versuch, ein wissenschaftliches Experiment, an und aus diesen Andeutungen wird ersichtlich, wie jeder gute Versuch, der mit klarem Bewußtsein dessen, was man daraus entnehmen will, mit völliger Kenntniß aller Verhältnisse, die den Erfolg beeinflussen können, endlich mit der gleichzeitigen Anwendung jener Mittel, welche die genaue Beobachtung der im Verlaufe des Versuches eintretenden Erscheinungen gestatten, angestellt wird, eine deutliche Frage ist, welche wir an die Natur richten und welche diese mit Bestimmtheit beantworten muß.

Die Metalle werden als einfache Körper erkannt.

Lavoisier erklärte nun im Gegensatze zu den früheren Chemikern, daß die Metalle keineswegs zusammengesetzte Körper seien, am allerwenigsten aber das Phlogiston, welches gar nicht existire, enthalten, daß sie vielmehr als einfache Stoffe, als chemische Elemente bezeichnet werden müssen, die sich bei ihrer Verbrennung, der Verkalkung, mit dem erwähnten Luftbestandtheile verbinden und dabei natürlich ihr Gewicht vermehren. Das die Verbrennung unterhaltende Gas nannte Lavoisier Sauerstoff, Oxygen, da er es auch als einen wesentlichen Bestandtheil vieler damals bekannten Säuren nachwies. Diesen Akt der Verbindung des Sauerstoffes mit anderen Elementen bezeichnet Lavoisier mit dem Ausdrucke Oxydation und die Producte der Verbindung als Oxyde, welche Namen heutzutage noch unverändert im Gebrauche sind. Wir haben schon erwähnt, daß viele Metallkalke, wenn man sie mit Kohle glüht, wieder in Metalle zurück verwandelt werden und wissen die Erklärung der Phlogistiker für diese Erscheinung, welche sagten, die Kohle sei sehr reich an Phlogiston und übertrage dieses wieder auf den Metallkalk. Mit der Kenntniß des Sauerstoffes war auch diese Rückbildung des Metalles, die Reduction durch Kohle, erklärt. Man fand bald, daß die Kohle hiebei keineswegs etwas an den Metallkalk abtritt, sondern diesem im Gegentheile einen Körper und zwar den Sauerstoff entzieht, um sich damit zu der mehrmals erwähnten Kohlensäure zu vereinigen, welche sich auch als das Product der directen Vereinigung der Kohle mit Sauerstoff nachweisen ließ. Die Reduction der Metalloxyde, wie wir von nun an die Metallkalke der Alten zu nennen berechtigt sind, mittelst Kohle ist also nichts weiter, als eine Verbrennung der letzteren auf Kosten des in den Metalloxyden vorhandenen Sauerstoffes, welche, da dieses Element eine andere Verbindung eingeht, wieder das ursprüngliche Metall liefern müssen. Es war nun nicht schwierig, alle bisher genauer beobachteten Erscheinungen zu erklären, als die Folgen der Verbindung oder Trennung zweier oder mehrerer Körper, und die Vorstellung von einer eigentlichen Umwandlung der Stoffe, welche ohnehin durch die obwohl an sich unrichtige Theorie Stahl's schon bedeutend zurückgedrängt war, verschwand von nun an für immer.

Oxyde und Oxydation.

Reduction.

Rückblick.

Werfen wir nun einen Blick auf den Zustand der chemischen Kenntnisse bei den Alten, wie er zu Anfang dieser Darstellung geschildert wurde, so

läßt sich die Bemerkung nicht unterdrücken, daß unsere Wissenschaft, obwohl sich seit vielen Jahrhunderten zahlreiche ausgezeichnete Männer damit beschäftigten, einen sehr langsamen Entwickelungsgang genommen. Der Grund davon ist in dem jedenfalls sehr merkwürdigen Umstande zu suchen, daß man bei allen chemischen Untersuchungen einer Haupteigenschaft der Materie, der Schwere, keine Rechnung trug; selbst dann noch, wo die Veränderung des Gewichtes bei der chemischen Umwandlung einer Substanz eine allgemein bekannte Thatsache geworden. Lavoisier's Genie befreite endlich unsere Wissenschaft von den Fesseln einer unrichtigen Vorstellung über den Grund der chemischen Umwandlungen, und in weniger als 80 Jahren schwang sich hierauf die Chemie zu ihrer jetzigen Höhe und Ausdehnung empor.

II.

Die allgemeine Chemie.

Die chemischen Elemente.

Von Lavoisier ist auch die Vorstellung über die Natur eines chemischen Elementes ganz richtig aufgefaßt worden und hat seither keinerlei Veränderungen mehr erfahren. Wir verstehen jetzt noch darunter einen wägbaren Körper, welcher sich durch alle uns zu Gebote stehenden Mittel nicht in andere ungleichartige Stoffe zerlegen läßt, dagegen die Fähigkeit besitzt, mit anderen Elementen sich zu völlig gleichartigen Substanzen zu vereinigen, die den Namen chemische Verbindungen führen und sich von den Elementen schon dadurch wesentlich unterscheiden, daß man eben diese wieder daraus mit ihren ursprünglichen Eigenschaften abtrennen kann.

Es ist natürlich, daß Lavoisier und seine nächsten Nachfolger keineswegs alle Elemente kannten. Wir dürfen jetzt noch nicht mit Sicherheit behaupten, daß mit den bisher aufgefundenen 61 Elementen die Reihe der auf der Erde vorhandenen abgeschlossen sei. Gewiß ist uns aber kein Element entgangen, welches bei den natürlichen chemischen Veränderungen, welche unausgesetzt die Beschaffenheit der Erdoberfläche abändern und diese, sowie die darauf lebenden Organismen, neu gestalten, eine nur einigermaßen wichtige Rolle spielt.

Metalle und Metalloide.

Man pflegt die Elemente in zwei große Gruppen einzutheilen, wovon die eine die Metalle, die andere die nicht metallischen Elemente oder Metalloide umfaßt. Auf eine eigentliche Classification derselben im gewöhnlichen Sinne müssen wir Verzicht leisten und sind genöthigt, eben jedes Element an sich und in seinen Beziehungen zu den anderen zu betrachten, wobei wir von gewissen Analogien geleitet werden, welche uns gestatten, mehrere Elemente zu kleineren, bestimmter umgränzten Gruppen zusammenzustellen. Derlei Analogien leiten den Chemiker auch bei seinen Bemühungen, die Verbindungen der Elemente übersichtlicher aneinander zu reihen, wie wir später deutlicher einsehen lernen werden. Es mögen hier vorläufig die Namen der bekannten Elemente folgen, wobei die verbreiteteren, somit wichtigeren, durch größere Schrift ausgezeichnet sind: **Aluminium**, **Antimon**, **Arsen**, **Barium**, Beryllium, **Blei**, **Bor**, Brom, Cadmium, **Calcium**, Cer, **Chlor**, Chrom, Didym, **Eisen**, Erbium, Fluor, **Gold**, **Jod**, Iridium, **Kalium**, **Kobalt**, **Kohlenstoff**, **Kupfer**, Lanthan, Lithium, **Magnesium**, **Mangan**, Molybdän, **Natrium**, **Nickel**, Niobium, Norium, Osmium, Palladium, **Phosphor**, **Platin**, **Quecksilber**, Rhodium, Ruthenium, **Sauer-**

stoff, Schwefel, Selen, **Silber, Silicium, Stickstoff**, Strontium, Tantal, Tellur, Terbium, Thorium, Titan, Uranium, Vanadin, **Wasserstoff, Wismuth, Wolfram**, Yttrium, **Zink, Zinn**, Zirkon.

Es ist an der Zeit zu erörtern, welchen Begriff man früher von der Ursache der chemischen Vereinigung hatte und wie man selbe bezeichnete. Es wurde vielseitig ausgesprochen, daß die Verbindung zweier Körper nur dann stattfinden könne, wenn sie etwas Gemeinsames, Verwandtes enthalten, und so entstand der Ausdruck Verwandtschaft, Affinität für chemische Anziehung, welchen wir noch heutzutage allgemein anwenden. Wenn sich also z. B. Zinn und Sauerstoff in der Wärme zu Zinnoxyd vereinigen, so geschieht dieß, weil diese beiden Elemente Verwandtschaft zu einander haben, denn unter Verwandtschaft verstehen wir die Fähigkeit der Körper, sich mit anderen chemisch zu vereinigen. Die Erfahrung lehrt nun, daß diese chemische Anziehung nicht bei allen Stoffen, gegenüber den übrigen, sich mit gleicher Intensität geltend macht, daß im Gegentheile hier große Verschiedenheiten obwalten. Dieß läßt sich namentlich dann leicht beobachten, wenn eine bereits gebildete chemische Verbindung mit einem Körper zusammentrifft, der zu einem Bestandtheile derselben größere Verwandtschaft hat, als der andere damit schon verbundene. In diesem Falle bemächtigt sich der hinzugebrachte Stoff des erwähnten Bestandtheiles und bildet damit eine neue Verbindung, während der verdrängte Körper sich mit seinen ursprünglichen Eigenschaften abscheidet. So haben Schwefel und Quecksilber zu einander eine große Verwandtschaft, welche sich sogleich äußert, wenn man diese beiden Elemente mit einander erwärmt. Unter lebhaftem Geräusche findet dann ihre Vereinigung statt, und wir erhalten zunächst einen schwarzen Körper, der sich verflüchtigen läßt und nach der Sublimation eine rothe krystallinische Masse liefert, die in ihrer Beschaffenheit mit dem natürlichen Zinnober völlig übereinstimmt. Der Zinnober besteht demnach aus Schwefel und Quecksilber. Erhitzen wir ihn aber in einer Retorte mit Eisen, so macht sich die größere Verwandtschaft dieses Metalles zu Schwefel geltend, letzterer und Eisen vereinigen sich zu einem neuen Körper, dem Schwefeleisen. Das freigewordene Quecksilber kann in der Vorlage leicht condensirt und dieser Vorgang hundertmal damit wiederholt werden, ohne daß es irgend eine seiner Eigenschaften dadurch einbüßte. Derlei Processe sind sehr viele bekannt und werden als einfache Wahlverwandtschaft bezeichnet, deren Einzelnheiten wir sehr leicht allgemein so ausdrücken können, daß eine Verbindung $A + B$, mit einem dritten Körper C zusammengebracht, an diesen A abgiebt, wonach die Verbindung $A + C$ entsteht, während B frei wird. Chemische Verwandtschaft.

In vielen Fällen findet eine Zersetzung der Verbindungen in der Weise statt, daß zwei derselben ihre Bestandtheile austauschen, welchen Vorgang man doppelte Wahlverwandtschaft zu nennen pflegt. So bilden, um als Beispiel von den zahlreich bekannten Fällen nur einen anzuführen, Sauerstoff und Blei mit einander Bleioxyd, und Chlor mit Wasserstoff den sogenannten Chlorwasserstoff. Kommen diese beiden Körper in wechselseitige Berührung, so vereinigen sich Chlor mit Blei, und andererseits Wasserstoff mit Sauerstoff, oder allgemein ausgedrückt: die Verbindungen $A + B$ und $C + D$ liefern durch Doppelzersetzung zwei neue $A + C$ und $B + D$.

Wenn wir in obigen schematischen Darstellungen auch eine große Anzahl der bekannten chemischen Zersetzungserscheinungen versinnlicht haben, so dürfen wir uns durchaus nicht der Meinung hingeben, daß damit alle möglichen

Verbindungsweisen der Körper erschöpft sind. Es giebt im Gegentheile eine bedeutende Menge chemischer Umwandlungsprocesse, welche sich auf eine der erwähnten zwei Kategorien nicht zurückführen lassen, doch gehören namentlich die Erscheinungen der einfachen und doppelten Wahlverwandtschaft zu den gewöhnlichsten Vorgängen.

Bedingungen, unter welchen die Affinität zur Geltung kommt.

Aus diesen Mittheilungen ist es leicht zu entnehmen, wie die chemische Verwandtschaft sich keinesfalls immer und unter allen Verhältnissen in gleicher Weise kund giebt, daß wir vielmehr verschiedene Grade ihrer Intensität gelten lassen müssen und in vielen Fällen die Affinität überhaupt gar nicht zur Wirksamkeit gelangen kann. Die Erfahrung hat uns über diesen Gegenstand zahlreiche Aufschlüsse geboten, die uns im Allgemeinen beweisen, daß die Affinität immer nur sich unter gewissen Verhältnissen geltend macht und ihre Intensität von mancherlei Umständen abhängig ist, die wir bis jetzt keineswegs alle kennen und demnach einer schärferen Beobachtung zu unterwerfen im Stande sind. Unter den Bedingungen, welche ohne Ausnahme erfüllt sein müssen, wenn die Verwandtschaft sich überhaupt äußern soll, ist die unmittelbare Berührung der Körper voranzustellen, denn die chemische Anziehung wirkt nur in unmeßbar kleinen Entfernungen. Auch dann aber tritt keine Verbindung ein, wenn nicht wenigstens einer der Körper tropfbar oder elastisch flüssig ist. Starre Substanzen, mögen sie sonst noch so viel Verwandtschaft zu einander zeigen, verbinden sich durchaus nicht, selbst wenn sie sehr sorgfältig und innig zusammengemischt werden. In sehr vielen Fällen genügt es übrigens nicht, diese beiden Bedingungen erfüllt zu haben, sondern es müssen noch andere Verhältnisse herrschen, um die Affinität rege zu machen. Hier tritt uns zunächst die Wärme, als eines der wichtigsten Agentien, entgegen, welche auf die Intensität und Richtung der Verwandtschaft Einfluß nehmen. Es muß immer eine gewisse Temperatur gegeben sein, wenn eine Verbindung vor sich gehen soll, und wir sind wohl berechtigt anzunehmen, daß bei großer Kälte überhaupt gar kein chemischer Vorgang möglich ist. So vereinigen sich Chlor und Phosphor in gewöhnlicher Temperatur ungemein heftig, bei 70 – 80^0 unter Null wirken sie nicht mehr aufeinander. Jedermann weiß, daß sich der Schwefel in gewöhnlicher Temperatur an der Luft unverändert erhält, sowie, daß man ihn durch Berührung mit einem brennenden Körper, also durch Hitze zum Verbrennen, d. h. zur Verbindung mit Sauerstoff disponiren kann, ebenso die Kohle u. s. w. Daraus geht aber hervor, wie die zur Erregung der Affinität nöthige Wärme bei verschiedenen Körpern sehr verschieden ist, und es mag noch hinzugefügt werden, daß man bis jetzt nicht im Stande war, zwischen diesen Verhältnissen und den übrigen Eigenschaften der Materie einen deutlichen Zusammenhang ausfindig zu machen. Doch gilt hier, wie bei allen noch zu erörternden Einflüssen auf die Aeußerungen der Affinität der Satz: daß unter gleichen Umständen die Wirkung der Verwandtschaft immer absolut dieselbe sei.

Wie die Wärme Affinität zu erregen vermag, ist sie, obwohl seltener, auch im Stande, dieselbe aufzuheben und dadurch die Zersetzung einer Verbindung zu veranlassen oder die Bildung derselben zu verhindern. So ist z. B. das Quecksilber in gewöhnlicher Temperatur unveränderlich, es verbindet sich nicht mit dem Sauerstoffe der Luft. Bei + 350^0 aber nimmt es diesen allmählig auf und verwandelt sich in rothes Quecksilberoxyd; wird aber dieses weiter über + 360^0 erwärmt, so zerfällt es wieder in Sauerstoff und Quecksilber; ein Vorgang, von welchem wir erzählten, daß er zur

Entdeckung des Sauerstoffes durch Priestley Veranlassung gab. Wir werden bald sehen, wie die Wärme überhaupt bei allen chemischen Vorgängen eine sehr wichtige Rolle spielt.

Gleich der Wärme, nur nicht so allgemein, läßt sich auch das Licht als ein Erreger der Affinität bezeichnen. Manche Körper verbinden sich nur unter gleichzeitiger Mitwirkung des Lichtes. Doch haben hier nicht alle Strahlen, aus welchen das farblose Licht zusammengesetzt ist, gleichen Einfluß, und dieser kömmt vorzüglich den grünen, blauen und violetten, sowie den unsichtbaren sogenannten chemischen Strahlen zu. Eben so wie die Wärme vermag übrigens auch das Licht Zersetzungen herbeizuführen. Namhaft empfindlich gegen Licht erweisen sich die Verbindungen gewisser edler Metalle, besonders des Silbers, welches deshalb auch zur Hervorbringung von Photographien allgemein benutzt wird, über deren Herstellung schon im Vorhergehenden ausführlich berichtet wurde. Die Bildung der dunkeln Stellen dabei beruht auf der durch das Licht bewirkten Zerlegung der Silberverbindung unter Abscheidung von metallischem Silber.

Fragen wir nun nach der nächsten Ursache der chemischen Anziehung, warum überhaupt die verschiedenen Körper die Fähigkeit besitzen, sich so innig mit einander zu vereinigen, daß ihre gesammten Eigenschaften verändert werden, so müssen wir offen gestehen, daß sich darüber keine genügende Erklärung geben läßt. Wir sind wohl im Stande, die Erfolge der Affinität zu beobachten, die Gesetze, nach welchen die chemischen Verbindungen entstehen, zu erforschen, allein den nächsten Grund dafür aufzufinden, war man bisher nicht im Stande, und die bald näher zu erörternde electrochemische Theorie, welche die chemische Anziehung auf bekannte electrische Erscheinungen zurückzuführen sich zur Aufgabe machte, ist weit davon entfernt, die Affinität in ihren verschiedenen Aeußerungen ungezwungen zu erklären. Wenn wir nun über die Quelle der Verwandtschaft schon völlig im Unklaren sind, um wie viel weniger Hoffnung ist für die nächste Zukunft vorhanden, über die Ursache der so mannigfaltigen Abänderungen, welche die Affinität durch Licht, Wärme und andere Agentien, sowohl nach ihrer Intensität wie nach der Richtung ihrer Aeußerung, erleidet, sich eine deutliche Vorstellung verschaffen zu können. Ursache der Anziehung.

Dieß gilt in noch höherem Grade von gewissen sehr interessanten Erscheinungen, die wir bei Elementen und Verbindungen oft in Bezug auf Steigerung ihrer Affinität wahrnehmen und als chemische Erregung zu bezeichnen pflegen, freilich ohne mit diesem Worte irgend eine Erklärung der Sache gegeben zu haben. Wir wollen dem Leser im Folgenden einige der wichtigeren, hierher gehörigen Thatsachen vorführen. Die Elemente im Zustande chemischer Erregung.

Das Chlor läßt sich im Dunkeln mit Wasserstoff mischen, ohne daß diese beiden Elemente sich vereinigen, vorausgesetzt, daß das Chlor auch im Dunkeln bereitet und überhaupt noch nicht vom Lichte getroffen wurde. Sobald das Gemenge beider Gase an's Licht gelangt, so findet augenblicklich unter Explosion die Verbindung der beiden Elemente statt, und dasselbe beobachtet man auch, wenn man das Chlor vor seiner Mischung mit Wasserstoff an's Licht bringt und dann im Dunkeln zu Wasserstoff treten läßt. In beiden Fällen ist die Affinität des Chlors zu dem Wasserstoff bedeutend gesteigert worden, und wenn wir nun sagen, das Chlor befinde sich in einem Zustande der chemischen Erregung, so wollen wir damit keineswegs eine Erklärung dieser und ähnlicher Erscheinungen, sondern nur eine Vorstellung bieten, welche eine bequeme und verständliche Bezeichnung des Vorganges gestattet.

Die Erfahrung lehrt uns ferner, wie der Sauerstoff in sehr vielen Fällen weit leichter sich mit einem Körper verbindet, wenn er selbst bereits chemisch gebunden ist, als im isolirten Zustande, weshalb wir so häufig mit Vortheil Sauerstoffverbindungen benutzen, um andere Körper zu oxydiren. Dazu dient z. B. die Salpetersäure, welche aus Sauerstoff und Stickstoff besteht und vom Ersteren leicht einen Theil an andere Stoffe abgiebt. Zinn bleibt an trockener Luft bekanntlich ganz unverändert, und um es direct mit Sauerstoff zu vereinigen, zu oxydiren, müssen wir es bei Luftzutritt stark erhitzen. Bringen wir aber Salpetersäure mit diesem Metalle zusammen, so erfolgt die Bildung von Zinnoxyd ungemein rasch, und alles Zinn wird in gewöhnlicher Temperatur in Zinnoxyd umgewandelt. Was wir eben vom Zinn erzählten, gilt auch von den meisten anderen Metallen, und die Fälle sind überhaupt sehr zahlreich, wo durch Vermittelung einer Sauerstoffverbindung Oxyde leichter hervorgebracht werden, als bei unmittelbarer Vereinigung. Wir sind demnach genöthigt anzunehmen, daß auch in gewissen Verbindungen des Sauerstoffes sich dieser wenigstens zum Theil mit größerer Affinität ausgestattet vorfindet, als im gewöhnlichen, unverbundenen Zustande, und pflegen diese Erscheinung, welche sich auch bei anderen Elementen kund giebt, auf den Umstand zurückzuführen, daß der Sauerstoff sich dabei im Momente des Freiwerdens, Entstehens (status nascens) befinde, und deßhalb eben höhere Verwandtschaftskräfte äußere; womit freilich noch keine Erklärung dieser wichtigen Thatsache gegeben ist, von der wir hier vorläufig noch ein Beispiel anführen wollen. Stickstoff und Wasserstoff sind zwei permanente Gase, welche sich unmittelbar, im unverbundenen Zustande zusammengebracht, unter keinerlei Umständen verbinden; doch ist uns das Ammoniak, eine Verbindung dieser beiden Elemente, bekannt, ein Körper, den wir später näher kennen lernen wollen. Er entsteht in sehr mannigfaltiger Weise, immer aber nur wenn die beiden Elemente, welche seine Bestandtheile ausmachen, sich im Entstehungsmomente treffen. Einer der einfacheren hierher gehörigen Vorgänge ist die Zersetzung der Salpetersäure durch Wasserstoff. Wenn wir in die Salpetersäure, welche eine Flüssigkeit ist, und wie bemerkt aus Stickstoff und Sauerstoff besteht, noch so lange Wasserstoffgas einleiten, so entweicht es unverändert, und auch die Säure erleidet keinerlei Veränderung. Anders gestalten sich jedoch die Erfolge, wenn der Wasserstoff im Entstehungsmomente mit der Salpetersäure zusammentrifft. Dieß läßt sich leicht veranlassen, falls man Zink, Schwefel- und Salpetersäure, mit Wasser verdünnt, gleichzeitig auf einander wirken läßt. Wir schicken voraus, daß Zink, Schwefelsäure und Wasser, unter Zerlegung des letzteren, Zinkoxyd und Wasserstoff liefern, während die Schwefelsäure sich mit dem so erzeugten Zinkoxyd verbindet. Wenn nun gleichzeitig Salpetersäure gegenwärtig ist, so beobachten wir eine doppelte Wirkung vom Entstehungszustande des Wasserstoffes. Erstlich wird der Salpetersäure der Sauerstoff entzogen, er bildet mit dem Wasserstoff Wasser, was, wie wir gesehen haben, nicht geschieht, sobald der Wasserstoff im gewöhnlichen Zustande mit der Salpetersäure zusammenkommt; der Stickstoff aber, welcher solchergestalt frei wird, vereinigt sich ferner im Entstehungsmomente mit einem weiteren Antheile Wasserstoff zu Ammoniak.

Mittheilung der chemischen Bewegung.

Ein anderer Umstand, welcher die gewöhnlichen Verwandtschaftsäußerungen steigernd abändert, die sogenannte **Mittheilung der chemischen Bewegung**, sowie die in ähnlicher Weise wirkende Berührung mit

starren, sehr fein vertheilten Körpern, behalten wir uns vor, später zu erörtern. Doch werden die obigen Angaben über die Modificationen, welche die Intensität der chemischen Verwandtschaft durch verschiedene Umstände erleidet, hinreichen, um dem Leser ein vorläufiges Bild von der unendlichen Mannigfaltigkeit zu geben, welche sich bei Aeußerung der Affinität kund thut.

Nachdem durch Lavoisier und seine Nachfolger erkannt und festgestellt war, welche die nächste Ursache der so lange falsch gedeuteten chemischen Umwandlungen sei, wendete sich die Aufmerksamkeit der Chemiker in verstärktem Maße den Gewichtsveränderungen zu, die sich an den Körpern vor und nach der Verbindung beobachten ließen. Durch die mannigfaltigsten und mit größter Sorgfalt angestellten Versuche wurde zunächst erwiesen, daß, wenn zwei Körper sich mit einander verbinden, das Gewicht des Productes genau gleich ist dem Gewichte der beiden Bestandtheile zusammengenommen, daß also bei der chemischen Vereinigung die Bestandtheile an Gewicht weder zu- noch abnehmen. Eine genauere Beobachtung der Gewichtsverhältnisse, in welchen die verschiedenen Körper sich verbinden, führte bald zu einer ungemein wichtigen, und für die Entwickelung unserer Wissenschaft höchst folgereichen Entdeckung. Man fand nämlich, daß die Gewichtsmengen, in welchen sich die Körper zu chemischen Verbindungen vereinigen, keineswegs schwankende, willkürliche Größen sind, sondern daß im Gegentheile jede Verbindung, immer und ohne Ausnahme, nur nach einem constanten und unveränderlichen Gewichtsverhältnisse zusammengesetzt ist. Der Zinnober besteht z. B., wie erwähnt, aus Quecksilber und Schwefel, und kann durch Erhitzen der beiden Elemente hervorgebracht werden. Mögen nun die Gewichtsmengen, in welchen man das Quecksilber vor der Erwärmung mit Schwefel mischt, noch so mannigfaltig abgeändert werden, so sehen wir die Verbindung doch nur in dem Verhältniß von 100 Theilen Quecksilber auf 16 Theile Schwefel vor sich gehen. Was von einem dieser Elemente mehr hinzugebracht wurde, als diesen erfahrungsmäßig ausgemittelten Zahlen entspricht, bleibt unverbunden zurück. Wasserstoff und Sauerstoff bilden bekanntlich zusammen Wasser. Immer sind darin auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff 8 Gewichtstheile Sauerstoff enthalten, somit auf 2 Theile Wasserstoff 16 Theile Sauerstoff, oder auf $2\frac{1}{2}$ Theile Wasserstoff 20 Theile Sauerstoff, denn wir dürfen nicht vergessen, daß wir es hier nicht mit absoluten Werthen, sondern mit relativen Zahlen zu thun haben. Derlei Verhältnisse beobachten wir bei allen chemischen Verbindungen, so, daß sich als ein allgemein gültiges Naturgesetz aussprechen läßt: *die chemischen Verbindungen gehen immer nach constanten, unabänderlichen Gewichtsverhältnissen vor sich.*

Die Körper verbinden sich immer in constanten Gewichtsverhältnissen.

Als man nun diese Gewichtsmengen, in welchen die Elemente sich untereinander verbinden, möglichst genau festgestellt hatte, so ergab sich aus der Vergleichung der Zahlen ein anderes merkwürdiges Gesetz, welches wir am Besten an einigen einzelnen Fällen einsehen lernen können. Betrachten wir die Ziffern, welche zum Vorschein kommen, wenn man bei einigen Elementen die Gewichtsmengen vergleicht, die nöthig sind, um mit 100 Gewichtstheilen Sauerstoff eine chemische Verbindung einzugehen. Es sind dazu erfahrungsmäßig erforderlich von

Schwefel	200	Gewichtstheile,
Wasserstoff	12,5	"
Calcium	250	"
Chlor	443,3	"

Kohlenstoff . . . . 75 Gewichtstheile,
Kalium . . . . 490 "
Silber . . . . 1350 "
Stickstoff . . . . 175 "

u. s. w. Nun gehen aber diese Elemente auch unter sich Verbindungen ein, die natürlich ebenfalls nach constanten Gewichtsverhältnissen stattfinden müssen. Fragen wir die Erfahrung nach diesen, so finden wir merkwürdiger Weise dieselben relativen Zahlen wieder, welche sich bei den Verbindungen mit Sauerstoff herausgestellt haben. Waren demnach gerade 12,5 Gewichtstheile Wasserstoff nöthig, um die 100 Theile Sauerstoff zu binden, so genügen erstere genau für 200 Theile Schwefel, 443,3 Theile Chlor, 75 Theile Kohlenstoff, 175 Theile Stickstoff. 200 Theile Schwefel verbinden sich mit 443,3 Theile Chlor, 250 Theile Calcium, 490 Theile Kalium, 1350 Theile Silber. Die Verbindung des Chlors mit Silber besteht aus 1350 Theilen Silber auf 443,3 Theile Chlor, kurz, wenn man das Gewichtsverhältniß ausgemittelt hat, in welchem sich ein Element mit einem zweiten verbindet, so ist damit auch schon diejenige Gewichtsmenge gegeben, welche nöthig ist, um die Quantität eines dritten Elementes vollständig zu binden, die gerade erforderlich war, um sich mit dem Ersten zu vereinigen. Diese Zahlen bezeichnen also gewissermaßen die gleichen chemischen Werthe der Elemente, weßhalb man sie auch **Aequivalente, Mischungsgewichte**, genannt hat. Man stellt sie zur leichteren Uebersicht gewöhnlich so zusammen, daß sie ausdrücken, wie viele Gewichtstheile des betreffenden Elementes nöthig sind, um 100 Theile Sauerstoff oder 1 Theil Wasserstoff zu binden. Es ist klar, daß, da es sich hier nur um relative Werthe handelt, es gleichgültig ist, welches Element gerade zum Ausgangspunkt der Vergleichung gewählt wird. Da aber der Sauerstoff sich, mit einer einzigen Ausnahme, mit allen Elementen verbindet, so pflegt man eben diesen, oder auch Wasserstoff, als Einheit anzunehmen, welcher wieder den Vortheil darbietet, daß die Zahlen sehr klein ausfallen und viele davon zugleich ein sehr einfaches Multiplum von 1 vorstellen, das leicht im Gedächtniß haftet, wie sich aus folgender Tabelle ergiebt, wo die durch möglichst genaue Versuche ausgemittelten Aequivalente der Elemente, für Sauerstoff = 100 und Wasserstoff = 1, zusammengestellt sind.

Aequivalente. Stöchiometrie.

Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1	Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1
Aluminium Al	171,25	13,7	Eisen Fe	350,00	28,0
Antimon Sb	1503,8	120,3	Fluor Fl	237,50	19,0
Arsenik As	940,00	75,2	Gold Au	2462,50	197,0
Barium Ba	855,29	68,5	Jod J	1586,00	127,0
Beryllium Be	87,1	7,0	Iridium Ir	1233,75	98,7
Blei Pb	1294,64	103,7	Kalium K	490,00	39,2
Bor B	136,20	10,9	Kobalt Co	368,65	29,5
Brom Br	1000,00	80,0	Kohlenstoff C	75,00	6,0
Cadmium Cd	696,77	55,8	Kupfer Cu	395,60	31,7
Calcium Ca	250,00	20,0	Lanthan La	588,00	47,0
Cerium Ce	591,00	47,3	Lithium Li	81,66	6,5
Chlor Cl	443,28	35,5	Magnesium Mg	150,00	12,0
Chrom Cr	329,00	26,3	Mangan Mn	344,68	27,6
Didym D	620,00	49,6	Molybdän Mo	574,80	46,0

Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1	Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1
Natrium Na	287,20	23,0	Stickstoff N	175,00	14,0
Nickel Ni	369,33	29,6	Strontium Sr	548,00	43,8
Osmium Os	1245,00	99,6	Tantal Ta	860,3	68,8
Palladium Pd	665,47	53,3	Tellur Te	801,76	64,2
Phosphor P	400	32	Thorium Th	743,86	59,6
Platin Pt	1233,75	98,7	Titan Ti	301,55	24,1
Quecksilber Hg	1250,00	100,0	Uran U	750,00	60,0
Rhodium Rh	651,96	52,2	Vanadin V	856,89	68,7
Ruthenium Ru	651,00	52,1	Wasserstoff H	12,5	1,0
Sauerstoff O	100,00	8,0	Wismuth Bi	2600,00	208,0
Schwefel S	200,00	16,0	Wolfram W	1150,78	92,0
Selen Se	495,28	39,7	Zink Zn	406,59	32,5
Silber Ag	1350,00	108,0	Zinn Sn	735,29	58,9
Silicium Si	277,77	22,3	Zirkonium Zr	419	33,5

Es mag nicht überflüssig sein, den Leser daran zu erinnern, daß alle angeführten Zahlen uns nur die Gewichtsverhältnisse angeben, in welchen die Elemente Verbindungen eingehen, daß sie uns ferner für alle Fälle gestatten, die Menge des einen Körpers zu bestimmen, die nothwendig ist, um mit einer gewissen Quantität eines anderen eine chemische Verbindung einzugehen. Fragen wir z. B., wie viel Theile Chlor für 62 Theile Kalium nöthig sind, um eine Verbindung damit hervorzubringen, so sehen wir aus der Tabelle, daß auf 490 Theile Kalium 443,3 Chlor erforderlich sind, und wir haben somit die Gleichung 490 : 443,3 = 62 : x; daraus ergiebt sich der Werth von x mit 56,09. Hätten wir die in der zweiten Kolumne, wo Wasserstoff = 1 gesetzt ist, vorfindlichen Zahlen benutzt, so wären wir zu denselben Resultaten gelangt, denn

$$39{,}2 : 35{,}5 = 62 : x,$$

und somit

$$x = 56{,}09.$$

Wenn wir früher sagten, daß die Elemente nur in einem constanten Verhältnisse sich zu verbinden vermögen, so haben wir vorläufig eine unbegründete Behauptung aufgestellt, um unsere Leser nicht mit zu viel Thatsachen auf einmal bekannt zu machen, und beeilen uns nun zu berichtigen, daß dies keineswegs der Fall ist, daß im Gegentheile sich viele Elemente unter einander in mehreren Verhältnissen vereinigen; doch werden wir gleich sehen, wie sich die erste Behauptung mit der jetzigen Angabe ganz gut in Einklang bringen läßt, und die Aequivalente unter allen Umständen zur Geltung kommen. Eine größere Reihe von Sauerstoffverbindungen bildet, um von den zahlreichen bekannten Fällen einen einfacheren als Beispiel anzuführen, der schon mehrmals erwähnte Stickstoff. Es sind fünf wohlcharacterisirte Oxyde desselben bekannt. Bei ihrer Untersuchung stellte sich ihre Zusammensetzung in 100 Theilen folgendermaßen heraus:

	Stickstoffoxydul.	Stickoxyd.	Salpetrige Säure.	Untersalpetersäure.	Salpetersäure.
Sauerstoff	36,40	53,33	63,20	69,56	74,10
Stickstoff	63,60	46,67	36,80	30,44	25,90
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Diese Zahlen würden nun wohl noch keine besondere Einfachheit in den Verbindungsverhältnissen verrathen, wenn wir aber nachsehen, welche Zahlen zum Vorschein kommen, falls man von dem Aequivalent des Stickstoffs ausgeht, so erhalten wir folgende einfache Beziehungen: 14 Stickstoff : 8, 16, 24, 32, 40 Theilen Sauerstoff. Ein ganz ähnliches Verhältniß beobachten wir bei den Verbindungen des Kaliums mit Schwefel. Die erste enthält auf 39,2 Theile Kalium 16 Theile Schwefel, besteht also aus gleichen Aequivalenten. In der zweiten sind auf dieselbe Menge Kalium 32, in der dritten 48, in der vierten 64, in einer fünften endlich 80 Theile, oder einfacher ausgedrückt: 1, 2, 3, 4 und 5 Aequivalente Schwefel enthalten. Außer diesen Verbindungen kennen wir noch eine, welche auf 78,4 Theile Kalium 80 Theile Schwefel, und eine zweite, die auf eben so viel Kalium 102 Theile Schwefel enthält, was auf 2 Aequivalente Kalium 5 und 7 Aequivalente Schwefel giebt. Auf solche einfache Verhältnisse lassen sich alle Verbindungen der Elemente zurückführen, und nirgends beobachten wir dießfalls eine Abweichung von dem erörterten Gesetze. Wir haben nun noch das Verhalten der Verbindungen von zwei oder mehreren Elementen zu besprechen, wenn diese, wie so häufig geschieht, noch weitere Affinität zu anderen Verbindungen zeigen. Hier begegnen wir der interessanten Thatsache, daß nicht nur eben so einfache und constante Gewichtsverhältnisse bei der Verbindung obwalten, sondern daß diese zugleich ohne Ausnahme sich auf die Aequivalente der Elemente zurückführen lassen. Man kann dieß einfach durch folgenden Satz ausdrücken: das Aequivalent einer Verbindung ist immer gleich der Summe der Aequivalente der darin enthaltenen Elemente. Wir wissen z. B. schon, daß die Salpetersäure auf 1 Aeq. Stickstoff 5 Aeq. Sauerstoff enthält. 1 Aeq. Stickstoff beträgt 14; 1 Aeq. Sauerstoff 8; es sind also in der Salpetersäure auf 14 Theile Stickstoff $5 \times 8 = 40$ Theile Sauerstoff enthalten. Dadurch ist aber auch schon das Aeq. der Säure bestimmt. Es muß der Summe dieser Zahlen gleich sein, und somit 54 betragen. Wasser, welches bekanntlich gleiche Aeq. Wasserstoff und Sauerstoff, also auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff 8 Gewichtstheile Sauerstoff enthält, hat das Aeq. 9, und in der That finden wir, daß, wenn Salpetersäure und Wasser sich vereinigen, dieß in den Gewichtsverhältnissen von 54 : 9 geschieht. Die Salpetersäure verbindet sich zudem mit vielen anderen Körpern, z. B. dem Oxyd des Kaliums, welches, dem Wasser entsprechend zusammengesetzt, ebenfalls aus gleichen Aeq. der beiden Elemente, also aus 39,2 Kalium auf 8 Theile Sauerstoff besteht. Das Aeq. des Kaliumoxyds ist somit $39{,}2 + 8 = 47{,}2$, und wenn die Salpetersäure sich damit verbindet, so vereinigen sich immer 54 Theile Säure mit 47,2 Theilen Kaliumoxyd. So zahlreich und mannigfaltig auch die Verbindungen sind, welche daraus entstehen, daß einfache Verbindungen sich zu solchen einer höheren Ordnung vereinigen, so läßt sich doch bei keiner derselben eine Abweichung von dem eben erörterten Gesetze beobachten; auch dann nicht, wenn, wie häufig stattfindet, Verbindungen sich in mehreren Verhältnissen vereinigen. Die Salpetersäure liefert z. B. noch eine zweite Verbindung mit Wasser, welche auf 54 Theile Säure 36 Theile Wasser enthält. Wir erkennen sehr leicht, daß hier 4×9 Gewichtstheile, also 4 Aeq. Wasser mit 1 Aeq. Salpetersäure verbunden sind.

Wie einfach auch diese Verhältnisse uns erscheinen mögen, so schwierig war es doch, dieselben aufzufinden. Wenzel und Richter, zwei deutsche Chemiker, machten zuerst auf gewisse Regelmäßigkeiten in der quantitativen

Zusammensetzung mehrerer Verbindungen aufmerksam, doch fanden diese beiden Chemiker keine Beachtung. Proust, Dalton, Davy, namentlich aber der schwedische Chemiker Berzelius, nahmen später die dießfälligen Versuche mit genügenderen Mitteln wieder auf, und durch ihre Bemühungen, die sorgfältigste Aufmerksamkeit, welche sie der Feststellung der in einer Verbindung vorhandenen Gewichtsmengen der einzelnen Elemente widmeten, wurde nicht nur die Thatsache festgestellt, daß die Verbindungen nach unabänderlichen constanten Gewichtsverhältnissen stattfinden, sondern sie bestimmten auch die Aeq. mit vieler Genauigkeit. Die von Berzelius aufgefundenen Zahlen haben größtentheils bis auf geringere durch die besseren Methoden der neueren Chemie bedingten Abänderungen heute noch volle Geltung.

Chemische Symbole und Formeln.

Mit der Entwickelung des Begriffs der Aeq bildete sich besonders durch Berzelius, dem unsere Wissenschaft überhaupt unendlich viel verdankt, die chemische Zeichenschrift aus. Man ist überein gekommen, die einzelnen Elemente mit bestimmten Symbolen zu bezeichnen und wählte dazu die Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen. So werden z. B. Sauerstoff mit O (Oxygenium), Wasserstoff mit H (Hydrogenium), Stickstoff mit N (Nitrogenium) bezeichnet. Wo die Namen mehrerer Elemente mit demselben Buchstaben beginnen, setzt man bei den übrigen noch einen der folgenden Buchstaben hinzu, um jedes Mißverständniß zu vermeiden. So schreibt man Schwefel S, Silicium Si, Selen Se, Antimon Sb (Stibium), Zinn Sn (Stannum). In der obigen Tabelle finden sich alle Symbole der Elemente in der ersten Colonne angegeben. Diese Zeichen bedeuten uns aber nicht nur die Elemente als solche, sondern sie drücken auch zugleich das Mischungsgewicht, das Aequivalent, aus. Wenn wir daher O, H, S, N u. s. w. schreiben, so bezeichnen wir mit diesen Symbolen zugleich 8 Gewichtstheile Sauerstoff, 1 Theil Wasserstoff, 16 Theile Schwefel, 14 Theile Stickstoff ꝛc., und damit ist uns ein eben so einfaches als wichtiges Mittel gegeben, die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen, welche wir bereits kennen und durch genaue Analysen festgestellt haben, allgemein verständlich auszudrücken, ohne erst nöthig zu haben, die Gewichtsmengen, welche dabei aufgefunden wurden, durch Zahlen zu bezeichnen. Um eine Verbindung zu schreiben, welche aus gleichen Aequivalenten verschiedener Elemente besteht, setzt man die Symbole derselben einfach unmittelbar neben einander. So bedeutet HO die Verbindung von 1 Theile Wasserstoff mit 8 Theilen Sauerstoff, also Wasser, KCl eine Verbindung von gleichen Aequivalenten Kalium und Chlor, NO eine solche von gleichen Aequivalenten Stickstoff und Sauerstoff. Alle durch derlei Aneinanderreihungen von Symbolen hervorgebrachte Ausdrücke für die Zusammensetzung der Verbindungen nennt man chemische Formeln. Kommt in den zu bezeichnenden Körpern ein oder das andere Element zu mehreren Aequivalenten vor, so wird dieß durch eine neben dem Zeichen des Elementes rechts angeschriebene Zahl ausgedrückt, SO_3 bedeutet 1 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff, Fe_2Cl_3 2 Aeq. Eisen mit 3 Aeq. Chlor, C_4H_5O 4 Aeq. Kohlenstoff mit 5 Aeq. Wasserstoff und 1 Aeq. Sauerstoff. Will man aber eine bestimmte Anzahl von Aeq. einer chemischen Verbindung bezeichnen, so schreibt man die betreffende Ziffer links von den zusammengestellten Symbolen und sie gilt dann für alle folgenden Zeichen, so weit diese nicht durch Unterscheidungszeichen von einander getrennt sind. SO_3 ist Schwefelsäure, $2SO_3$ bedeutet 2 Aeq. derselben, somit also in Summe 2 Aeq. Schwefel und 6 Aeq. Sauerstoff. Sollen aber mehrere Verbindungen

geschrieben werden, die sich vereinigt haben, so geschieht dieß, indem man ihre Formeln neben einander setzt und durch einen Beistrich oder das mathematische Pluszeichen + trennt. SO_3,HO bedeutet also eine Verbindung von gleichen Aeq. Schwefelsäure und Wasser, $2SO_3,HO$ eine Verbindung von 2 Aeq. Schwefelsäure mit 1 Aeq. Wasser. Wollen wir aber z. B. 3 Aeq. der ersten Verbindung schreiben, so setzen wir die betreffende Ziffer links und schließen die durch Unterscheidungszeichen getrennten Formeln, um anzudeuten, daß die Zahl für alle gilt, mit Klammern ein. Also $3(SO_3,HO)$.

So bequem nun der Gebrauch der chemischen Formeln ist, wenn es sich darum handelt, die Zusammensetzung eines Körpers kurz und übersichtlich darzustellen, so wichtig erscheinen sie uns auch in ihrer Anwendung bei Versinnlichung chemischer Umwandlungen, wozu sie eben so leicht benutzt werden können. Um chemische Processe durch Formeln auszudrücken, welche man dann ein Schema nennt, stellt man die Symbole der Körper, die in Wechselwirkung treten, zusammen und verbindet sie durch das mathematische Gleichheitszeichen = mit den Formeln, welche das Resultat des chemischen Vorganges versinnlichen. $HCl + KO = KCl + HO$ bedeutet, daß die Verbindung von Wasserstoff mit Chlor sich mit dem Kaliumoxyd zu Chlorkalium und Wasser umsetzt u. s. w.

Wenn man bedenkt, daß der Chemiker sehr viele chemische Processe kennen und im Gedächtnisse behalten soll, um sie bei seinen Combinationen oder Versuchen zu benutzen, daß er also ohne die Formeln genöthigt wäre, die durch selbe repräsentirten Zahlen sich zu merken oder sie, falls ihm dieß nicht gelingt, mühsam zusammenzustellen, um sie dann, so oft es nöthig ist, wieder mit großem Zeitverlust aufzusuchen, während ihm jetzt ein Blick auf die Formel alles lehrt, was er in dieser Hinsicht zu wissen braucht, so kann man jenen Männern, welche diesen eben so einfachen als sinnreichen Weg aufgefunden, um die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Verbindungen präcis und übersichtlich auszudrücken, nicht genug Dank wissen.

Theorie der Atome.

Es ist klar, daß sowohl die chemischen Umwandlungserscheinungen an sich als namentlich die eben zuvor erörterten stöchiometrischen Thatsachen viele Chemiker aufforderten, selbe zu erklären und den Grund dieser Erscheinungen auf eine einfache Ursache zurückzuführen. Wir haben schon früher hervorgehoben, wie selbst heute noch die eigentliche Ursache der chemischen Verwandtschaft uns verborgen ist, doch können wir uns über gewisse bei der Aeußerung der Affinität zur Geltung kommende Erscheinungen mit Zuhülfenahme einer Theorie Rechenschaft geben, zu welcher überdieß auch andere, außerhalb dem engeren Gebiete der Chemie liegende Thatsachen immer mehr drängen, welcher Umstand wohl für die Richtigkeit der sogleich zu besprechenden Annahmen zu bürgen scheint. Alle Eigenschaften der Materie, soweit wir diese überhaupt zu erkennen im Stande sind, deuten darauf hin, daß die Körper aus sehr kleinen Theilchen bestehen, die, mit gewissen Anziehungskräften ausgestattet, sich zu dem uns sinnlich wahrnehmbaren Materiellen vereinigen. Schon unter den griechischen Philosophen machte sich diese Voraussetzung geltend. Die Gedankenlosigkeit, mit welcher die ersten Chemiker, namentlich die Alchemisten, chemische Umwandlungen zu beobachten gewohnt waren, der Eifer, mit welchem man zur Zeit der medicinischen Chemie den eingebildeten Zwecken unserer Wissenschaft nachstrebte, verhinderten in jenen Perioden, daß die besseren vorurtheilsfreieren Fachgenossen jene Idee der kleinsten Theilchen zur Erklärung chemischer Erscheinungen benutzten. Mit Boyle und einzelnen seiner Nachfolger tauchten wieder Versuche auf, die kleinsten Theilchen in die Wissen-

schaften einzuführen; aber erst, nachdem Lavoisier die wahre Ursache der chemischen Umwandlungen aus einer Verbindung heterogener Körper zu einem gleichartigen Ganzen oder der Abscheidung derselben aus einem solchen abzuleiten wußte, als später die Gesetze, welchen die Gewichte der Körper bei der chemischen Verbindung folgen, immer deutlicher hervortraten, fand man dafür in der Annahme der kleinsten Theilchen eine Erklärung, die sich mit allen bekannten Thatsachen in Einklang bringen ließ und, wir müssen dieß besonders hervorheben, bei jeder Erweiterung der Wissenschaft immer neue Stützen fand, so daß wir selbe gegenwärtig durchaus nicht entbehren können, wenn es sich darum handelt, den nächsten Grund der chemischen Verbindungsgesetze zu erläutern. Es waren besonders Dalton, Davy und Berzelius, welche theils durch Speculation, theils durch sorgfältige Versuche dieser Theorie eine streng wissenschaftliche Grundlage boten und wir wollen in Folgendem nachweisen, daß sie in der That, wenn wir von der letzten Ursache der Affinität absehen, alle den Chemismus betreffende Erscheinungen ganz genügend erklärt. Unsere Theorie setzt voraus, daß die gesammte Körperwelt aus ungemein kleinen Theilchen bestehe, welche sich wenigstens durch die uns bekannten Mittel und Kräfte nicht weiter theilen lassen, weßhalb man sie Atome (α privativum und τέμνειν zerschneiden) nennt. Atome sind demnach für uns untheilbare Körperchen, denen die Eigenschaft zukömmt, sich zu größeren theilbaren Massen zu vereinigen, in welchen sich die Atome in ungeheurer Anzahl neben einander gelagert haben. Nach der modernen atomistischen Theorie bestehen nun sämmtliche Elemente aus Atomen. Diese werden durch die ihnen innewohnende Affinität von den Atomen der anderen Elemente angezogen und dadurch bestimmt, sich neben diese in gewissem Sinne einzulagern, wodurch, da eine so innige Mengung hervorgebracht wird, daß eine mechanische Theilung, mit allen uns zu Gebote stehenden Mitteln, eine Abtrennung der heterogenen Atome nicht herbeizuführen vermag, sich die für unsere Sinne scheinbare Gleichartigkeit chemischer Verbindungen erklärt, weil die Atome eben viel zu klein sind, um sich in ihrer Verschiedenheit wahrnehmen zu lassen. Wenden wir das Gesagte auf einen oder den anderen der bereits näher berührten chemischen Vorgänge an, so werden wir im Sinne der atomistischen Theorie z. B. sagen müssen, bei der Oxydation des Zinns lagern sich die Atome des genannten Metalles neben die des Sauerstoffs und bilden so zusammenhängende Gruppen, welche allerdings aus heterogenen Atomen bestehen, uns aber aus oben erörterten Gründen gleichartig erscheinen. Auch solche Gruppen von Atomen sind bekanntlich noch häufig mit Affinität ausgestattet. Das Bleioxyd, aus Atomen von Blei und Sauerstoff bestehend, vereinigt sich leicht mit Säuren, z. B. Salpetersäure, welche wieder aus Atomen von Stickstoff und Sauerstoff besteht; dann lagern sich immer wieder Gruppen dieser Atome neben einander, so höher zusammengesetzte, complicirter aneinander gefügte Aggregate von Atomen bildend. Läßt sich nun in dieser Weise die so durchgreifende Umwandlung in den Eigenschaften der Körper nach ihrer Verbindung oder Trennung auf einen einfachen Grund zurückführen, so gilt dieß auch und fast in noch höherem Grade von den so merkwürdigen Gewichtsverhältnissen, welchen wir schon früher unsere Aufmerksamkeit gewidmet haben. Ja diese sind es zumeist, welche zur Annahme der atomistischen Theorie nöthigten. Wir brauchen nur anzunehmen und dieser Annahme steht keinerlei Beobachtung oder Thatsache entgegen, daß die Atome der Elemente nicht nur verschiedene chemische Eigenschaften, sondern auch ein verschiedenes relatives Gewicht je

nach ihrer Natur haben, so ist damit erklärt, warum die Elemente und ihre Verbindungen nicht in schwankenden zufälligen Verhältnissen sich zu vereinigen vermögen. Wie schwer jedes einzelne Atom an sich ist, darüber können wir uns natürlich auch nicht die geringste Vorstellung bilden; allein es läßt sich recht gut denken, daß z. B. die Atome des Eisens viel schwerer sind, als die des Schwefels und diese etwa wieder schwerer, als die des Wasserstoffs. Ueber diese relativen Gewichtsdifferenzen geben uns aber die durch die Erfahrung ermittelten Aequivalente Auskunft, wenn wir uns nur über die Anzahl der Atome vereinigen, die bei Entstehung einer Verbindung zusammengetreten sind. Das einfachste Verhältniß z. B., welches wir bei den Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff wahrnehmen, ist zu gleichen Aequivalenten, also 14 Theile Stickstoff auf 8 Theile Sauerstoff. Die atomistische Theorie sagt nun, es haben sich in diesem Producte je 1 Atom Stickstoff und 1 Atom Sauerstoff verbunden und somit muß das relative Gewicht eines Atoms Stickstoff sich zu dem eines Atoms Sauerstoff verhalten wie 14 : 8, mag nun die absolute Anzahl der Sauerstoff- und Stickstoffatome, sowie das absolute Gewicht der Einzelnen derselben was immer für eines sein, denn über diesen Punkt werden wir uns nie Rechenschaft geben können. Die Zahlen 14 und 8 werden uns aber jetzt mehr repräsentiren, als die Aequivalente; sie stellen uns die relativen Gewichte der Atome des Stickstoffs und Sauerstoffs vor, weßhalb man sie im Sinne der atomistischen Theorie als Atomgewichte bezeichnet.

Der merkwürdige Umstand, daß auch die Verbindungen der Elemente, falls sie neuerdings sich chemisch zu vereinigen vermögen, dieß immer in Gewichtsverhältnissen thun, welche genau der Summe der Aequivalente von den darin enthaltenen Elementen entspricht, findet in der relativ verschiedenen Schwere der Atome ebenfalls eine völlig genügende Erklärung, denn nach dieser treten dann Gruppen von Elementaratomen aneinander, die natürlich ihr Gewicht in keiner Weise zu verändern vermögen. Es versteht sich von selbst, daß wir uns über die Gestalt der Atome keine begründete Vorstellung machen können, doch ist die Annahme, sie seien sphärisch, die einfachste und natürlichste.

Obwohl mit diesen Andeutungen keineswegs alle Gesetze und Grundlehren erschöpft sind, welche sich aus der Beurtheilung der bekannten mit der Aeußerung der Affinität zusammenhängenden Erscheinungen ergeben, und die in ihrer Gesammtheit den Gegenstand der allgemeinen Chemie ausmachen, so wollen wir hier vorläufig abbrechen, um das Weitere bei der Beschreibung der wichtigsten Elemente und Verbindungen an geeigneter Stelle nachzutragen.

Eintheilung der Elemente.

Wenn wir auch im Sinne hätten, bei dieser Beschreibung, welche den Gegenstand der sogenannten speciellen Chemie ausmacht, ganz systematisch zu Werke zu gehen, so würde uns dieß in keinem Falle gelingen, denn schon bei dem ersten Schritte, dem Versuche, die doch nicht zahlreichen Elemente durch eine strenge logische Eintheilung in mehrere Gruppen (Klassen, Ordnungen u. dgl.) übersichtlich zusammenzustellen, möchten sich unbesiegbare Hindernisse in den Weg stellen. Diese haben ihren Grund vorzüglich in dem Mangel eines haltbaren, der Natur selbst entnommenen Eintheilungsprincips. Wenn wir als solches die äußeren, sogenannten physikalischen, Eigenschaften der Elemente gelten lassen wollen, so ergiebt sich, daß manche Elemente als einander sehr nahestehend bezeichnet werden müssen, welche im Grunde von einander sehr verschieden sind. Diese Verschiedenheit ergiebt sich aber erst dann, wenn wir das Verhalten dieser beiden Elemente gegenüber von den Anderen, die Verbindungsweisen derselben und den chemischen

Character der entsprechenden Verbindungen betrachten. Wollen wir aber von den Eigenschaften der unverbundenen Elemente absehen und blos die Beschaffenheit der Verbindungen bei der Eintheilung benutzen, so erweist sich diese gleichfalls als völlig ungenügend, denn man beobachtet sehr häufig, daß die Elemente in gewissen Verbindungsweisen eine bestimmte Reihe, in anderen Verbindungsweisen aber eine davon ganz verschiedene Reihe von Stoffen mehr oder weniger genau nachahmen. Unter diesen Umständen ist es wohl am zweckmäßigsten, auf eine wahrhaft systematische Anordnung ganz zu verzichten und die aus den ersten Entwickelungsjahren der Wissenschaft datirende oberflächliche Eintheilung der Elemente in Metalle und die sogenannte Metalloide bei der folgenden Darstellung zu Grunde zu legen. Jeder Laie wird sich wohl über die Metalle eine Vorstellung gebildet haben, welche ihm zu ermöglichen scheint, die Frage, ob ein vorliegender Körper zu den Metallen gezählt werden müsse oder nicht, mit Sicherheit zu entscheiden. Und doch stellt es sich heraus, daß wir keine einzige Eigenschaft zu bezeichnen im Stande sind, welche ausschließlich den Metallen zukommen und diese streng von allen anderen einfachen und zusammengesetzten Körpern zu unterscheiden gestatten würde. Während aber bei den Metallen denn doch eine gewisse Gleichartigkeit des chemischen Verhaltens und der äußeren Eigenschaften berechtigt, sie in eine Gruppe zu vereinigen, stellen sich bei den nichtmetallischen Elementen solche Verschiedenheiten heraus, daß nur wenige derselben auf Grundlage großer Aehnlichkeit im chemischen Verhalten neben einander gereiht werden können und die Uebrigen mit einer vollen Selbständigkeit ihres Characters sowohl für sich, wie in ihren Verbindungen auftreten. Aus diesen Gründen kann die folgende Darstellung der speciellen Chemie am allerwenigsten sich auf eine systematische Anordnung stützen, welcher Mangel bei unserer Aufgabe, nur das Wesentlichste und Interessanteste aus dem Bereiche der Chemie als Naturwissenschaft und unentbehrliche Gehilfin der Industrie zu bringen, sich weniger fühlbar machen dürfte, als dort, wo es sich um eine umfassende, erschöpfende Besprechung unserer Wissenschaft handelt.

III.

Luft und Wasser.

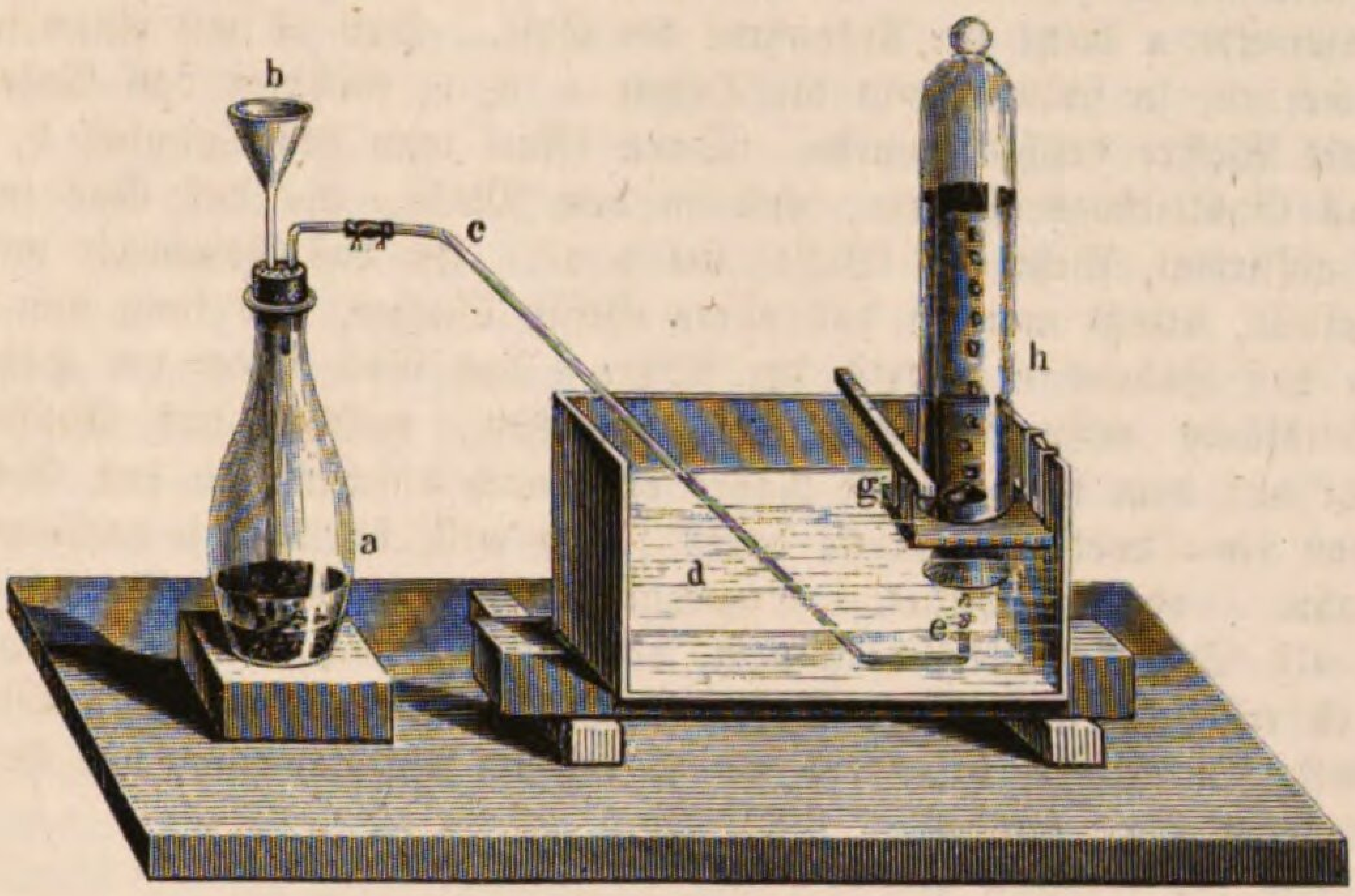
Wenn wir den Bedingungen des organischen Lebens nachspüren, so lehrt uns schon eine ziemlich oberflächliche Betrachtung, daß ohne Vermittelung der Atmosphäre und des Wassers kein Organismus gedeihen und sich entwickeln kann. Schon aus diesem Grunde verdienen die beiden genannten Fluida, welche unseren Planeten umwogen, vor Allem eine nähere Betrachtung, ganz abgesehen von den mächtigen mechanischen Wirkungen, welche sie bekanntlich nach so vielen Richtungen äußern und die, wenn wir die vulkanische Thätigkeit des Erdinneren unberücksichtigt lassen, vorwiegend die Ursache der Veränderungen sind, welche die Gestalt der Erdoberfläche stetig, wenn auch sehr langsam, erleidet. Wir meinen damit die Verwitterung der Gebirgsgesteine und die Erfolge der Luft- und Wasserströmungen.

Verweilen wir vorerst bei der Luft, so muß vor allem hervorgehoben werden, daß diese, im Gegensatze zum Wasser, der Hauptmasse nach ein Gemenge ist, während das Wasser eine chemische Verbindung vorstellt. Die Luft und das Wasser enthalten aber drei Elemente, welche zu den wichtigsten und interessantesten gehören und die Eigenschaft mit einander theilen, daß sie im freien, unverbundenen Zustande permanente Gase sind, d. h. weder durch die stärkste Abkühlung, noch durch den mächtigsten Druck in den flüssigen oder starren Zustand übergeführt werden können, während die coërciblen Gase sich durch die angegebenen Mittel verdichten lassen. In der Atmosphäre, über deren Zusammensetzung und Beschaffenheit wir unten noch Näheres mittheilen wollen, finden sich Sauerstoff und Stickstoff mechanisch gemengt, während das Wasser eine Verbindung von Wasserstoff mit Sauerstoff ist.

Der pneumatische Apparat.

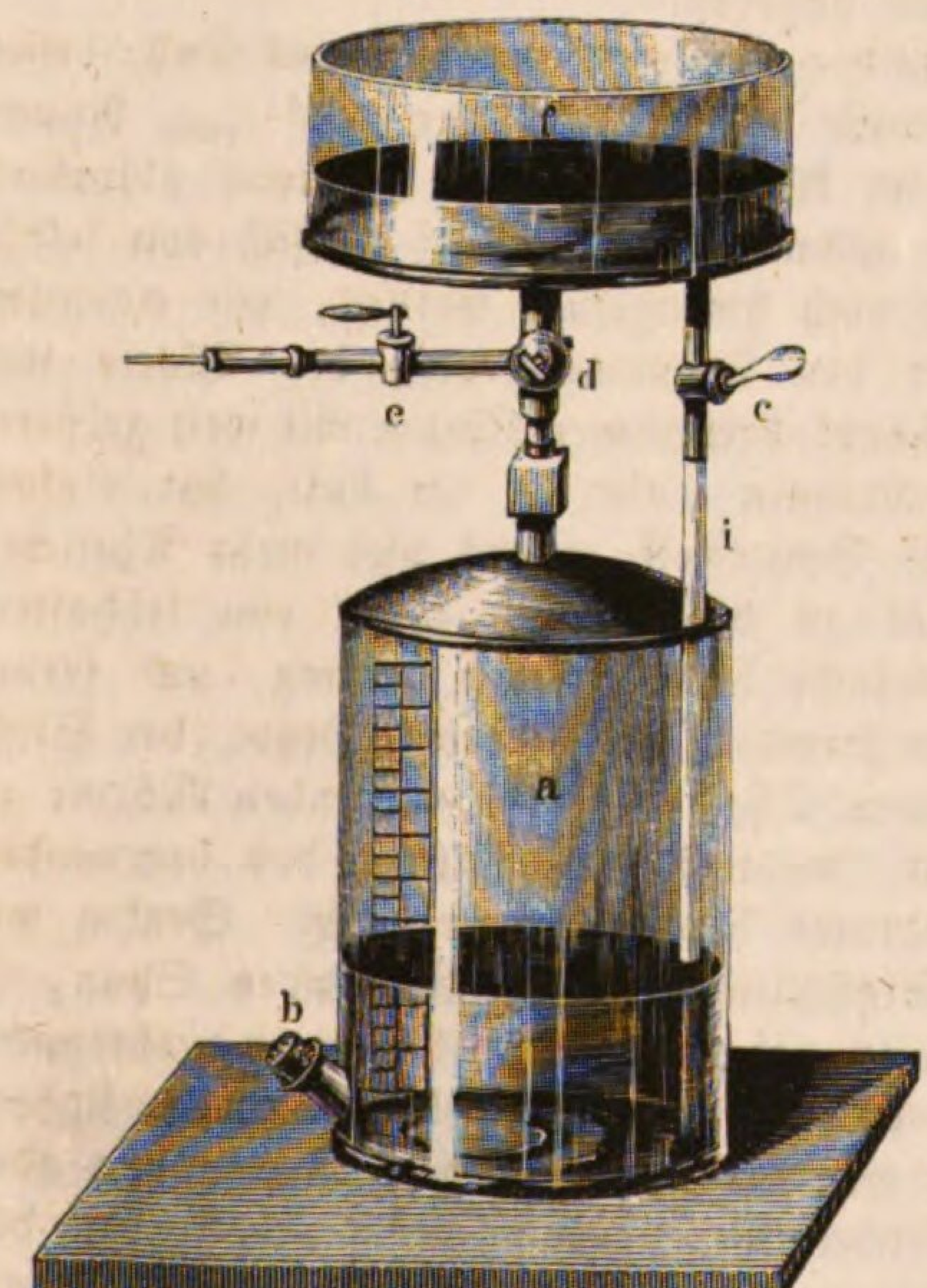
Will man Gase überhaupt auf ihre Beschaffenheit untersuchen, so ist es nöthig, selbe in besonderen Vorrichtungen zu erzeugen und unter Umständen aufzusammeln, welche es unmöglich machen, daß sie sich mit der atmosphärischen Luft mengen. Der von Priestley erfundene pneumatische Apparat, welcher jetzt noch immer zur Anwendung kommt, wo es sich um das Sammeln und Prüfen eines gasförmigen Körpers handelt, ist in Fig. 272 wiedergegeben. Die pneumatische Wanne d, gewöhnlich viereckig oder oval, aus Porzellan, Glas oder Metallblech angefertigt, enthält eine

(Fig. 272.)



bewegliche Brücke g, welche in der Mitte durchbohrt und mit einem trichterförmigen Ansatz f versehen ist, über welchem sich ein mit Wasser gefüllter Cylinder h befindet, in welchem sich das Gas ansammeln soll, welches durch das Gasleitungsrohr c aus der Mündung e unter Wasser aufsteigt. Das Gasleitungsrohr ist nun mit jenem Apparate in Verbindung gesetzt, in welchem die Entwickelung des luftförmigen Körpers vor sich geht und der nach Umständen verschieden eingerichtet ist. In unserem Falle findet sich eine Gasentwickelungsflasche a in Anwendung, die mit einem doppelt durchbohrten Korke versehen ist. In die eine Bohrung ist das Gasleitungsrohr eingepaßt, die andere nimmt einen Sicherheitstrichter b auf, der bis nahe an den Boden der Flasche reicht und dazu dient, um die zur Gasentwickelung etwa nöthigen Flüssigkeiten allmälig einzutragen, ohne die Flasche öffnen zu müssen. Findet zufällig eine sehr rasche Gasentwickelung statt, so gewährt der erwähnte Trichter noch den großen Vortheil, daß die Flüssigkeit in demselben aufsteigt und, sobald die stürmische Gasentwickelung wieder aufhört, wieder auf die dem Drucke der Flüssigkeitssäule in c entsprechende Höhe zurücksinkt, wodurch der Apparat in normalem ununterbrochenen Gange erhalten werden kann.

(Fig. 273.)



Das Gasometer.

Bei diesem Anlasse mag auch die Beschreibung des Gasometers Fig. 273 Platz finden, welches dazu dient, um Gase nicht nur aufzubewahren, sondern nach Be-

darf wieder weiter zu leiten oder in andere Gefäße überzufüllen. Das eigentliche Gasometer a dient zur Aufnahme der Gase. Soll es mit einem solchen gefüllt werden, so schließt man die Hähne e, d, c, nachdem das Gasometer zuvor mit Wasser beschickt wurde. Dann öffnet man den Tubulus b, führt dort das Gasleitungsrohr ein, und in dem Maße, als das Gas in dem Gefäße aufströmt, fließt das Wasser bei b ab. Ist das Gasometer mit dem Gase gefüllt, bringt man in das obere Gefäß Wasser, und kann nun durch Oeffnen des Hahnes c mittelst der Röhre i das Gas einem der Höhe der Flüssigkeitssäule entsprechenden Druck aussetzen, welchen das Ausströmen desselben aus dem horizontalen Rohre oder nach aufwärts in das Gefäß f, falls man etwa dort eine Glocke damit füllen will, bedingt, je nachdem man den Hahn e oder d öffnet. Gewöhnlich wird in beiden Vorrichtungen Wasser als Sperrflüssigkeit verwendet, doch benutzt man, wo die Natur des Gases es erheischt, auch Oel, Salzlösungen, in den pneumatischen Wannen sehr häufig Quecksilber, besonders wo es sich um Aufsammelung und Prüfung ganz trockener Gase handelt.

Sauerstoff.

Der Luft läßt sich der Sauerstoff nicht unmittelbar entnehmen und man kann ihn daraus nicht rein abscheiden, weil der beigemengte Stickstoff im unverbundenen Zustande, wie er sich in der Luft findet, sehr indifferent ist und man ihm keinen anderen Körper bieten kann, mit welchem er sich unter Rücklassung des Sauerstoffs zu einem flüssigen oder starren Körper vereinigen würde, während dies umgekehrt mit Sauerstoff ganz gut gelingt, da dieser im Gegentheile mit sehr energischen Verwandtschaftskräften ausgestattet ist. Ueber die Darstellung des Sauerstoffs wollen wir jedoch erst später berichten, nachdem wir eine allgemeine Schilderung derjenigen Sauerstoffverbindungen vorausgeschickt haben, welche unter passenden Umständen dieses Element rein und unverbunden abgeben.

Eigenschaften des Sauerstoffs.

Der Sauerstoff ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, dessen spec. Gewicht $1,_{1056}$ beträgt. Es wird vom Wasser nur zu $^{41}/_{1000}$ Raumtheilen, von anderen Flüssigkeiten im Allgemeinen noch spärlicher absorbirt. Da es einen Bestandtheil der Luft ausmacht, so versteht es sich von selbst, daß es respirabel ist, und es mag noch hinzugefügt werden, wie eigentlich nur der Sauerstoff es ist, welcher den Athmungsproceß der Thiere und Pflanzen unterhält. Daß die überhaupt brennbaren Körper mit weit größerer Lebhaftigkeit im Sauerstoffgase verbrennen, als in der Luft, hat einfach seinen Grund darin, daß der reine Sauerstoff erstens viel mehr Theilchen des brennenden Körpers auf einmal zu binden und somit eine lebhaftere Feuererscheinung schon aus dieser Ursache hervorzurufen vermag, und ferner weil ihm nicht, wie in der Luft, ein fremder, indifferenter Körper, der Stickstoff nämlich, beigemengt ist, der einen Theil der frei werdenden Wärme zu seiner Erhitzung in Anspruch nimmt, wodurch das Glühen des brennenden Körpers oder des Verbrennungsproductes herabgestimmt wird. Senken wir in einen mit Sauerstoff gefüllten Glascylinder einen glimmenden Span, so entzündet er sich augenblicklich, um darin mit glänzender Flamme zu verbrennen.

Electrochemische Theorie.

Aus manchen Andeutungen, welche sich in den vorgehenden Zeilen finden, konnte der Leser schon entnehmen, wie bei der chemischen Verbindung oder Zersetzung sich neben der durchgreifenden Veränderung der Beschaffenheit der Körper noch andere wichtige Erscheinungen wahrnehmen lassen, welchen wir

bisher nur eine ganz vorübergehende Aufmerksamkeit widmen konnten. Wir wenden uns jetzt zu denselben zurück, indem wir deutlich aussprechen, daß Wärme und Electricität bei allen chemischen Veränderungen eine ungemein wichtige Rolle spielen, über die wir uns leider bis jetzt nicht genügende Rechenschaft geben können. Sobald ein Körper, sei er Element oder Verbindung, mit einem zweiten sich vereinigt, wird immer und ohne Ausnahme Wärme frei. Die Menge der Wärme ist je nach der Natur der sich vereinigenden Stoffe sehr verschieden, bei denselben Substanzen aber, unter übrigens gleichen Umständen, immer dieselbe und unabänderliche Größe. Schon Lavoisier hatte in der Feuererscheinung bei der Verbrennung den Act der chemischen Verbindung als nächste Ursache derselben erkannt und diese Erklärung ist auch bis auf die Neuzeit, mit einigen Erweiterungen, immer noch als völlig richtig anerkannt. Bei einer Verbrennung wird eben, in Folge der Vereinigung zweier Stoffe, so viel Wärme frei, daß wir dieselbe nicht nur deutlich empfinden, sondern auch sehr oft lebhafte Lichterscheinungen wahrnehmen, die bloß Folge der bedeutenden Temperaturerhöhung sind, welcher sowohl die sich vereinigenden Körper, als das Product der Verbindung ausgesetzt sind. Lavoisier glaubte bloß beim Sauerstoff die Fähigkeit voraussetzen zu müssen, sich unter Feuererscheinung mit anderen Elementen zu verbinden; spätere Erfahrungen lehrten uns noch mehrere andere Elemente kennen, welchen eine ähnliche Eigenschaft zukömmt. Je nach den Verwandtschaftskräften, gegenüber gewissen anderen Elementen, rufen sie sogar zuweilen dort Feuererscheinungen hervor, wo der Sauerstoff indifferent ist. Man nennt alle Elemente, welche Verbrennung einzuleiten und zu unterhalten im Stande sind, Zünder, und die brennbaren, die sich gewissermaßen den Zündern gegenüber passiv verhalten, Radicale.

Um das eben Angedeutete durch einige Beispiele zu erörtern, wollen wir das Verhalten des Sauerstoffs, Schwefels und Chlors gegen einige Radicale prüfen. Daß Kohlenstoff, in Gestalt von Kohle, in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft unverändert bleibt, lehrt die tägliche Erfahrung, ebenso, daß bei hinreichendem Erhitzen die Kohle an der Luft zu brennen beginnt und fortglüht, wenn nicht Körper, die die Wärme gut leiten, sich in ihrer unmittelbarsten Nähe finden, und dadurch die Verbrennungstemperatur wieder so weit herabstimmen, daß die Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Kohlenstoff aufgehoben wird. Beispiele.

Der Schwefel ist bekanntlich in gewöhnlicher Temperatur starr, in starker Hitze dagegen nimmt er Dampfform an und in diesem Zustande vermag er sich wohl mit stark erhitztem Kohlenstoff zu verbinden. Die Temperaturerhöhung aber, die hier nöthig ist, um die Affinität zwischen den beiden Elementen rege zu machen, überragt bei weitem diejenige, welche durch die Vereinigung veranlaßt wird, so daß von einer eigentlichen Verbrennung nicht die Rede sein kann, obwohl der Vorgang mit dem früheren sonst völlig übereinstimmt. Es ist eben nur ein Mehr oder Weniger von frei gewordener Wärme; die Sache jedoch bleibt dieselbe. Chlor, ein gasförmiger Körper, vereinigt sich direct mit dem Kohlenstoff, weder in gewöhnlicher noch in hoher Temperatur. Werfen wir dagegen bei ganz mäßiger Wärme, welche dem Sauerstoff gegenüber keineswegs noch eine Verbrennung hervorrufen könnte, gepulvertes Antimonmetall in ein mit Chlorgas gefülltes Gefäß, so vereinigen sich beide Elemente mit lebhafter Feuererscheinung und es findet somit bei Chlor unter Umständen eine Verbrennung statt, welche den Sauerstoff in-

different lassen. So wie Antimon verhalten sich, gegenüber von Chlor, viele Metalle und auch nicht-metallische Elemente. Wird Kupfer an der Luft erhitzt, so bildet sich, wie bemerkt (S. 448), Kupferoxyd, doch beobachtet man kaum eine Feuererscheinung. Bringen wir dagegen Kupferspäne in Schwefeldampf, so verbrennt das Metall unter lebhaftem Erglühen zu Schwefelkupfer. Wir können nun aus diesen Andeutungen entnehmen, daß der Verbrennungsproceß um so lebhafter vor sich geht, je intensiver die Verwandtschaft ist, welche die Elemente zu einander äußern.

Das Gemeinsame bei der Verbrennung ist nicht etwa die Natur der Elemente, die sich verbinden, sondern das Freiwerden von Wärme bei dem Acte der chemischen Vereinigung. Wir sagten nun früher, daß bei jeder chemischen Verbindung Wärme frei wird, somit wäre eigentlich jede Verbindung ein Verbrennungsproduct. Man schränkt jedoch nach zwei Richtungen den Begriff der Verbrennung ein und läßt diesen Ausdruck nur dann als richtig gelten, wo die frei werdende Wärme so groß ist, daß sie Lichterscheinungen hervorruft, daß die Körper zu leuchten beginnen. Warum sie aber leuchten, wenn sie heiß werden, ist uns bis jetzt noch ein Räthsel. Die zweite Einschränkung bezieht sich auf die Natur des Productes. Es muß, falls es nach allgemeinem Uebereinkommen als ein Verbrennungsproduct bezeichnet werden soll, nur aus zwei Elementen bestehen, oder wie man das sehr häufig auszudrücken pflegt, eine binäre Verbindung sein. Wir sehen z. B. Schwefelsäure und Bittererde, wenn sie völlig wasserfrei mit einander in Berührung kommen, sich unter lebhaftem Glühen verbinden, nennen dieß aber keine Verbrennung, denn das Product enthält drei Elemente, da die Schwefelsäure aus Schwefel und Sauerstoff, die Bittererde aus dem Metalle Magnesium und Sauerstoff besteht.

Man wird uns vielleicht einwenden, daß ja so viele brennbare Körper aus mehreren Elementen zusammengesetzt sind, und wir wollen, um diesem Einwurf eine positive Grundlage zu geben, anführen, wie das Paraffin, aus welchem man bekanntlich jetzt ausgezeichnet schöne Kerzen fabricirt, aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehe, und doch werden wir sagen, es verbrenne beim Gebrauche. Der Widerspruch ist jedoch nur ein scheinbarer. Allerdings ist hier das Material der Verbrennung ein zusammengesetzter Stoff, der Act der Verbrennung aber bedingt eine völlige Zerstörung desselben, die damit endigt, daß der Kohlenstoff für sich zu der einfachen Verbindung Kohlensäure, der Wasserstoff zu Wasser verbrenne. Wir beobachten also mehrere Verbrennungsproducte, wovon aber jedes einzelne ein einfaches ist, und somit dem obigen Begriffe der Verbrennung entspricht.

Wir haben bisher der Verbrennung sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet, da sich an dieselbe, nach dem jeweiligen Zustande unserer Wissenschaft, die wichtigsten Vorstellungen und Ansichten, die gerade Geltung hatten, am deutlichsten ersichtlich machen ließen. Jetzt, wo der Leser jedoch erfahren, wie die Verbrennung eigentlich nichts weiter ist, als eine namhafte Steigerung einer, bei jeder chemischen Verbindung ohne Ausnahme eintretenden Erscheinung, welche nur, je nach der Natur der Elemente, oder verschiedener Nebenumstände modificirt wird, wollen wir schließlich jene Theorie vorführen, zu deren Aufstellung eben zunächst der Verbrennungsproceß Veranlassung gab, die aber zugleich in einem höchst merkwürdigen Zusammenhange der chemischen Vorgänge mit einem anderen unwägbaren Stoff, der Electricität nämlich, fußt und behalten uns vor, später an geeigneter

Stelle noch einige Einzelheiten über gewisse äußere Verhältnisse bei der Verbrennung nachzutragen.

Aus dem früheren Abschnitte sind dem Leser bereits die zahlreichen Umstände bekannt, unter welchen beim Contact heterogener Körper Electricität frei wird und ein electrischer Strom entsteht. Es wird erinnerlich sein, wie diese Erregung der Electricität ausschließlich mit gleichzeitig eintretenden chemischen Processen im Zusammenhange steht. In der That beobachten wir immer, wo zwei Körper, die zu einander Verwandtschaft haben, in wechselseitige Berührung kommen und die Vereinigung nicht so rasch erfolgt ist, daß dadurch die dießfällige Beobachtung unmöglich gemacht wird, die Entstehung eines electrischen Stromes. Wir können also mit Recht daraus schließen, vor der Vereinigung werde in den Körpern Electricität frei. Nach erfolgter Verbindung verschwindet jede Spur electrischer Erregung. Erinnern wir uns nun, daß bei electrischen Entladungen ebenfalls Feuererscheinungen auftreten, daß mit entgegengesetzten Electricitäten ausgestattete leicht bewegliche Körper, wie Korkkügelchen, sich anziehen, also eine Bewegung erleiden, wie wir solche jedenfalls auch bei der Aneinanderlagerung der Atome voraussetzen müssen, so erscheinen uns die chemischen Verbindungen fast nothwendigerweise als Folge einer durch die entgegengesetzten Electricitäten bedingten Anziehung. Davy und Berzelius, welchen wir besonders die Ausbildung der in den obigen Worten angedeuteten electrochemischen Theorie verdanken, nahmen an, und bis in neuerer Zeit wohl der größte Theil aller Chemiker, daß die Verwandtschaft oder vielmehr die Anziehung der heterogenen Atome, die sich als Affinität äußert, lediglich ihren Grund in einem verschiedenen electrischen Zustande der Atome hat. Sobald nun zwei oder mehrere mit verschiedenen Electricitäten beladene Atome einander genähert werden, erfolgt unfehlbar die Anziehung, endlich Berührung und Ausgleichung der Electricität, die sich bekanntlich durch den electrischen Funken kund thut, der die Ursache der Wärme- und Lichtentwickelung bei der chemischen Vereinigung ist. Man hat die Körper, Elemente sowohl, wie Verbindungen, auf ihren electrischen Zustand bei der Berührung mit anderen untersucht und namentlich bei den Elementen eine Reihe aufgestellt, in welcher jeder Körper zu allen nachfolgenden sich negativ, zu den vorhergehenden aber positiv verhält und gefunden, daß im Allgemeinen die Körper um so größere Verwandtschaft zu einander haben, je weiter sie in der electrochemischen Spannungsreihe von einander stehen, was mit der eben entwickelten Annahme übereinstimmt, wonach die Verwandtschaft allerdings um so stärker sein muß, je größer die electrische Differenz ist. Wir lassen hier diese Reihe folgen: Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Selen, Phosphor, Arsen, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenstoff, Antimon, Tellur, Tantal, Titan, Silicium, Wasserstoff, Gold, Osmium, Iridium, Platin, Rhodium, Palladium, Quecksilber, Silber, Kupfer, Uran, Wismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eisen, Zink, Mangan, Didym, Cerium, Lanthan, Thorium, Zirconium, Aluminium, Yttrium, Terbium, Erbium, Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Lithium, Natrium, Kalium.

Eine sehr mächtige Stütze der electrochemischen Theorie bietet die Electrolyse, über deren Wesen der Leser schon im ersten Abschnitte dieses Werkes unterrichtet wurde. Es ist nichts natürlicher, als anzunehmen, daß die Zersetzung chemischer Verbindungen durch den electrischen Strom nichts weiter sei, als eine Wiederherstellung des electrischen Zustandes der Atome vor

ihrer Verbindung, unterstützt durch die von den beiden Polen der Säule geübte Anziehung. Wenn wir die bekannte Wasserzersetzung beobachten und sehen, wie am positiven Pole der negative Sauerstoff, am negativen Pole aber der positive Wasserstoff zum Vorschein kömmt; wenn wir bei Anwendung von mehreren Zersetzungszellen, in welchen sich verschiedene der Electrolyse fähige Körper befinden, zudem noch sehen, wie derselbe Strom alle diese Verbindungen in völlig äquivalenter Menge zersetzt, so daß auf je 1 Gewichtstheil Wasserstoff in der einen Zelle, in einer anderen gerade 108 Gewichtstheile Silber, falls dort eine Silberverbindung sich befand, weiter 35,5 Gewichtstheile Chlor oder 100 Gewichtstheile Quecksilber und so ferner zum Vorschein kommen, daß also dieselbe Electricitätsmenge verschiedene Quantitäten der einzelnen Elemente, aber immer strenge entsprechend den relativen Gewichten ihrer Atome, aus deren Verbindungen abscheidet, so scheint in der That unsere Theorie eine wahre und richtige Erklärung der Affinität und der Art ihrer Aeußerung zu bieten.

Doch läßt sich nicht verhehlen, daß bei genauer Betrachtung sämmtlicher uns bekannter Thatsachen, die electrochemische Theorie ungenügend erscheint und die electrischen Erscheinungen vielleicht mit demselben Rechte als Folge der Affinitätsäußerung, denn die Ursache derselben sich betrachten lassen. Schon zu der Zeit, wo die Theorie aufgestellt wurde, mußte man, um sie den damals erforschten Thatsachen völlig anzupassen, zu gewissen Annahmen seine Zuflucht nehmen, deren Richtigkeit sehr problematisch ist. So wissen wir wohl, daß mit verschiedener Electricität geladene leichte Körper sich anziehen, allein nachdem sie sich berührt und die Ausgleichung stattgefunden, sind die Electricitäten und damit die Anziehung verschwunden; die chemische Verbindung sollte demnach im Augenblicke des Entstehens auch wieder zerfallen, weil die Anziehung, welche zu ihrer Bildung Veranlassung gegeben, aufgehört hat zu wirken, was in der Wirklichkeit aber nicht der Fall ist. Man hat daher ergänzend annehmen müssen, daß jedes Atom beide Electricitäten im getrennten Zustande und zwar so enthalte, daß sie sich nicht vereinigen können und daß immer eine Electricität vorwiege. Wenn nun zwei heterogene Atome sich einander nähern und durch die electrische Anziehung neben einander lagern (chemisch verbinden), so bleiben immer noch an einem Atom positive, am anderen negative Electricität frei, welche sich nicht verbinden können und somit die Anziehung aufrecht halten. Noch complicirter erscheinen diese hypothetischen Verhältnisse, wenn man die so häufig auftretende Nebeneinanderlagerung vieler Atome und die Affinität der so entstandenen Gruppe zu anderen Verbindungen darauf zurückzuführen sucht. Es würde viel zu weit führen, wollten wir all die mehr oder weniger triftigen Einwendungen, welche sich gegen die electrochemische Theorie vorbringen lassen, hier einer Erörterung unterziehen. Manche schlagende Gründe gegen ihre Annahme wird der Leser aus verschiedenen, in den folgenden Blättern mitgetheilten Einzelheiten entnehmen. Doch wollen wir hier noch betrachten, wie sich die Theorie mit manchen Verwandtschaftsäußerungen nicht gut in Einklang bringen läßt. Wir haben oben gesehen, daß sich der Sauerstoff gegen alle anderen Elemente electronegativ verhält. Seine Affinität zu den meisten anderen Elementen ist sehr groß, doch machen ihm in dieser Hinsicht Chlor, Brom und Jod, insbesondere ersteres, den Rang streitig. Das Chlor ist in vielen Fällen im Stande, den Sauerstoff aus seinen Verbindungen geradezu auszutreiben und an seine Stelle zu treten. Nach der

electrochemischen Theorie ist der Grund dieser Erscheinung offenbar in einer mächtigeren Anhäufung der negativen Electricität zu suchen, welche sich mit der positiven Electricität der Radicale zu vereinigen strebt und dadurch die Verbindung veranlaßt. Andererseits wissen wir, welche große Verwandtschaft der Kohlenstoff zum Sauerstoff besitzt. Beide Elemente vereinigen sich nicht nur beim Erhitzen unter lebhafter Feuererscheinung unmittelbar, sondern der Kohlenstoff ist sogar im Stande, den meisten Sauerstoffverbindungen diesen zu entziehen. Im Sinne unserer Theorie wäre es in allen diesen Fällen die positive Electricität des Kohlenstoffes, die gegenüber der negativen des Sauerstoffes ihre Anziehung kräftigst ausübt. Wenn wir aber Chlor und Kohlenstoff, welche nach dem Gesagten sich in einem ganz ähnlichen Verhältnisse befinden sollten, unter was immer für Umständen zusammenbringen, so findet nie eine directe Vereinigung derselben statt, die Chlorverbindungen, mit Kohlenstoff erhitzt, veranlassen ebenfalls nicht die Bildung von Chlorkohlenstoff; kurz, hier üben die beiden Electricitäten keine solche Anziehung aus, wie sie sich aus der electrochemischen Aehnlichkeit des Chlors mit Sauerstoff eigentlich ergeben müßte. Wenn wir unter vielen Einwürfen hier nur einen vorgebracht, so läßt sich nicht leugnen, daß dieser allein schon ausreicht, gegen die Richtigkeit unserer Theorie gerechte Bedenken zu erheben, die auch bereits bei der raschen Entwickelung der Chemie, welche immer neue Gründe gegen die Theorie zu Tage fördert, so umfangreich und gewichtig geworden, daß wir die electrochemische Hypothese füglich als allgemein verlassen bezeichnen müssen. Nichtsdestoweniger pflegt man viele aus derselben abgeleitete Ausdrücke noch immer zu gebrauchen und spricht namentlich von electronegativen Verbindungen, im Gegensatze zu den positiven und ihrer Verwandtschaft zu einander, ohne eben damit die verschiedenen Electricitätszustände in denselben als die Ursache ihrer Affinität bezeichnen zu wollen.

Während nun die Wissenschaft, in ihrem steten Vorschreiten, der electrochemischen Theorie, welche seiner Zeit, bei beschränkteren Erfahrungen, zur Erklärung der chemischen Verwandtschaft ausreichte, eine Stütze nach der anderen raubt, sehen wir uns vergebens nach einem Versuche um, die verlassene Hypothese durch eine neue genügendere zu ersetzen. Niemand hat es mehr gewagt, die Frage nach der nächsten Ursache der Verwandtschaft einer näheren Erörterung zu unterziehen. Diese bleibt einer späteren Periode vorbehalten; wir fühlen, daß die Wissenschaft hiezu noch nicht reif sei, und das Bemühen der Chemiker unserer Zeit ist vorzugsweise dahin gerichtet, durch umfassende Untersuchungen über die Entstehung, Zusammensetzungsweise und Zerlegung der chemischen Verbindungen, sich über die C o n s t i t u t i o n derselben, d. h. über die Art und Weise, in welcher darin die Elementaratome gruppirt sind, genügende Aufklärung zu verschaffen.

Kehren wir nun wieder zum Sauerstoff zurück, welcher im Allgemeinen die Verbrennungserscheinungen am lebhaftesten erregt, so zeigt sich, daß dabei die Lichtintensität um so größer ist, je mehr die verbrennenden Körper oder Verbrennungsproducte die Fähigkeit besitzen, in starker Hitze Licht auszusenden. Eine glühende Kohle leuchtet deßhalb im Sauerstoff sehr lebhaft, da der Kohlenstoff nahezu unschmelzbar und nicht flüchtig ist, und die Erfahrung uns im Allgemeinen lehrt, daß die Lichterscheinung beim Glühen um so lebhafter, je feuerbeständiger der Körper, welcher der hohen Temperatur ausgesetzt wird, ist. Beim Verbrennen der Kohle entsteht gasförmige Kohlensäure, welche, trotz der großen Hitze, nicht leuchtet. Entzünden wir dagegen

Verbrennungs-Erscheinungen.

den so leicht brennbaren Phosphor im Sauerstoff, so erhalten wir eine sehr glänzende Lichterscheinung, da das Verbrennungsproduct, die Phosphorsäure, ein starrer Körper ist. Eine Stahlfeder, im Sauerstoff zum Glühen gebracht, verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen, mit bedeutendem Glanze, zu dem festen Eisenoxydoxydul. Welchen Einfluß übrigens die Natur des verbrennenden Körpers, abgesehen von den eben angedeuteten Verhältnissen auf die Intensität und Farbe des Lichtes, ausübt, können wir zur Zeit mit Bestimmtheit noch nicht aussprechen. Doch ist ein solcher Einfluß unläugbar; so verbrennt z. B. Schwefel mit blauem, Kupfer mit grünlichem, Zink mit bläulich weißem, Calcium mit rothem Lichte u. s. w.

Oxyde. Der Sauerstoff ist das electronegativste aller bekannten Elemente und verhält sich gegen alle, ohne Ausnahme, nur als Zünder, nie als Radical. Es sind natürlich sehr viele Verbindungen desselben bekannt, welche man im Allgemeinen mit dem Ausdrucke Oxyde bezeichnet, und, wenn mehrere Verbindungsverhältnisse bei einem Elemente auftreten, so nennt man die Reihe derselben Oxydationsstufen. Unter den Oxyden finden sich gewisse Gruppen, die noch mit Affinität ausgestattet, das Streben zeigen, sich mit anderen Sauerstoffverbindungen zu vereinigen, während andere Oxyde als indifferent zu bezeichnen sind und sehr geringe oder gar keine Affinität mehr äußern. Die Ersteren, d. h. die mit verschiedenen Verwandtschaftskräften ausgestatteten Sauerstoffverbindungen, kann man in zwei große Abtheilungen bringen, die sich in einem entschiedenen eigenthümlichen Gegensatze befinden, und wovon die Glieder jeder Abtheilung unter sich keine Verbindung eingehen, während sie dieß leicht mit denen der entgegengesetzten Gruppe thun. Man nennt sie

Säuren, Basen und Salze. Säuren und Basen. Es ist unmöglich, eine streng richtige Definition dieser beiden chemischen Begriffe zu geben. Die Säuren, wie schon der Name andeutet, haben, falls sie im Wasser löslich sind, einen mehr oder weniger deutlich sauren Geschmack, besitzen die Fähigkeit, gewisse blaue Pflanzenpigmente, wie Lackmus, Veilchensaft, sogleich zu röthen, während die mit größerer Verwandtschaft ausgestatteten Basen einen ätzenden, laugenhaften Geschmack zeigen, das geröthete Lackmuspigment wieder blau und Veilchensaft grün färben. Sobald die Säure mit einer Basis verbunden ist, verschwindet auch meistens ihr saurer Geschmack. Die übrigen Eigenschaften werden, wie bei allen chemischen Verbindungen, ebenfalls aufgehoben oder verändert, und wir sagen dann: Diese beiden Stoffe hätten sich wechselseitig gesättigt, neutralisirt. Obwohl wir die berührten Erscheinungen bei allen kräftigen Säuren und Basen deutlich wahrnehmen, giebt es doch viele zu einer oder der anderen dieser Klassen gehörigen Körper, welche weder sauer noch ätzend, laugenhaft schmecken und dennoch Säuren oder Basen sind. Wir können uns über die Frage, wo sie eingereiht werden sollen, jedoch immer leicht Aufklärung verschaffen, wenn wir untersuchen, ob der fragliche Körper zu Säuren oder zu Basen Verwandtschaft hat. Ist das erstere der Fall, so muß er eine Base, zeigt sich das letztere, eine Säure sein. Selten trifft man Oxyde, deren chemischer Character zweideutig ist, d. h. die sowohl mit Basen wie mit Säuren constante Verbindungen hervorzubringen vermögen. Es sind dieß zumeist solche Körper, die überhaupt mit geringer Affinität ausgestattet sind. Das Product der Vereinigung einer Säure mit einer Base nennt man allgemein: Salz, und in jedem eigentlichen Salze ist demnach eine Säure und eine Base enthalten. Gleich wie bei anderen Verbindungen, kann man auch hier beobachten, wie dieselben, Säure und Base, häufig sich

in mehreren Verhältnissen vereinigen. Man ist übereingekommen, jene Salze als neutral, d. h. so zusammengesetzt, zu bezeichnen, daß die Base die Säure ganz sättigt, ihr gleichsam chemisch das Gleichgewicht hält, wenn im Salze ebensoviel Atome Säure vorhanden sind, als sich in der Base Atome Sauerstoff vorfinden; demnach wäre KO,SO_3 ein neutrales Salz der Schwefelsäure; ebenso $Fe_2O_3,3SO_3$, obwohl im letzteren Falle auf 1 Atom der Base 3 Atome Schwefelsäure kommen. Findet sich im Salze mehr Säure als diesem Verhältnisse entspricht, so wird es ein saures genannt; ein solches ist z. B. $KO,2SO_3$. Waltet dagegen die Base vor, wie etwa in $2PbO,NO_5$ oder Fe_2O_3,SO_3, so heißt das Salz ein basisches. Neutrale, saure und basische Salze.

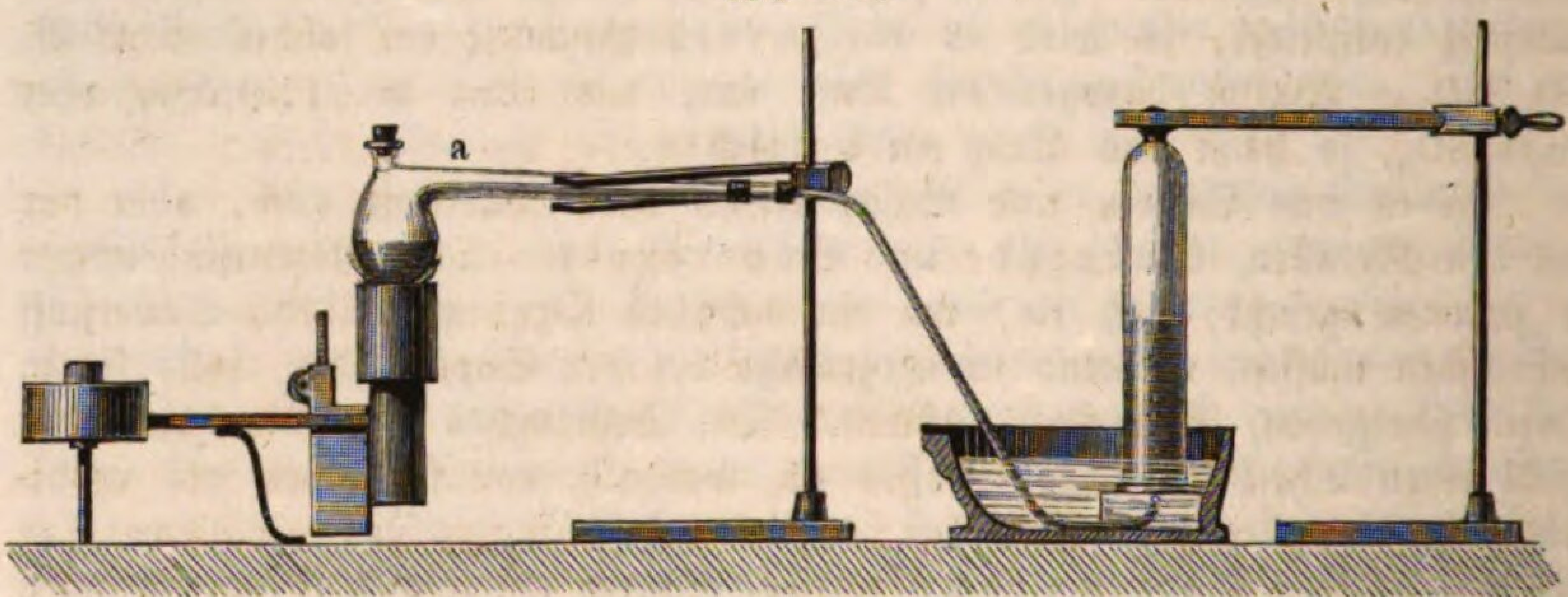
Neben den Säuren und Basen liefert der Sauerstoff auch, aber nur mit den Metallen, Suboxyde und Superoxyde. Die ersteren sind immer so zusammengesetzt, daß sie, um ein basisches Oxyd zu bilden, Sauerstoff aufnehmen müssen, während im Gegensatze bei den Superoxyden, falls sie in Basen übergehen, Sauerstoff austritt. Die Superoxyde geben überhaupt sehr leicht einen Theil ihres Sauerstoffes ab, weshalb man sie häufig als oxydirende Agentien benutzt. Man hat den Sauerstoff längere Zeit mit Lavoisier als den einzigen Körper betrachtet, welcher Säuren und Basen hervorzubringen vermag, später aber die Unrichtigkeit dieser Annahme erkannt und gefunden, daß auch Schwefel und Selen, selbst, obwohl beschränkter, Tellur, eine ganz ähnliche Fähigkeit besitzen, und, wenn auch lange nicht in dem Umfange wie Sauerstoff, mit gewissen Elementen wenigstens, Verbindungen erzeugen können, die zu einander genau in demselben chemischen Gegensatze stehen, wie die Sauerstoffsäuren und Sauerstoffbasen. Auch in ihnen enthalten Basen und Säuren einen gemeinschaftlichen Bestandtheil, und verbinden sich zu Körpern, deren Zusammensetzung in der Regel die der Sauerstoffsalze nachahmt, mit dem Unterschiede, daß an die Stelle des Sauerstoffes ein anderes Element getreten ist. Säuren, Basen und Salze, wo der Schwefel die Rolle des Sauerstoffes übernommen hat, nennt man Sulfosäuren, Sulfobasen und Sulfosalze. Alle Elemente aber, welche dießfalls den Sauerstoff nachahmen, letzteren eingeschlossen, werden als amphigene, Säuren und Basen bildende, bezeichnet. Sub- und Superoxyde. Amphigene Elemente.

Es erübrigt noch, die wichtigeren Methoden kennen zu lernen, nach welchen man reines Sauerstoffgas erhalten kann. Ein sehr bequemes Material liefert das rothe Quecksilberoxyd, von dessen Fähigkeit, bei stärkerem Erhitzen in Metall und Sauerstoff zu zerfallen, schon S. 454 Erwähnung geschehen. Es braucht nur in einer Retorte von streng-flüssigem Glase, die mit einem Gasleitungsrohre versehen ist, hinreichend erhitzt zu werden. Darstellung des Sauerstoffs.

Alle Superoxyde geben beim Erhitzen einen Theil ihres Sauerstoffes ab, und können somit ebenfalls zur Darstellung dieses Elementes dienen. Man benutzt gewöhnlich das Mangansuperoxyd, welches als Braunstein sich in größeren Massen natürlich vorfindet, indem man ihn gepulvert in einem eisernen Rohre oder einer solchen Retorte starker Glühhitze aussetzt, wobei er Manganoxydoxydul zurückläßt oder, indem man in einer Retorte mit Schwefelsäure erwärmt, wo sich Manganoxydul bildet und mit der Schwefelsäure vereinigt, während Sauerstoff entweicht. Im ersteren Falle wird ein Drittel, im zweiten die Hälfte des im Mangansuperoxyd enthaltenen Sauerstoffes abgeschieden. Am gewöhnlichsten und bequemsten ist wohl die Darstellung des Sauerstoffes aus dem chlorsauren Kaliumoxyd, einem im Handel vorkommenden Salze, dessen Säure ungemein zerleglich ist, und als

Radical das Chlor, ein Element, enthält, welches andererseits sehr große Verwandtschaft zum Kalium zeigt, so, daß bei hinreichendem Erhitzen sämmtlicher Sauerstoff entweicht, und im Rückstande Chlorkalium bleibt. Man nimmt die Zerlegung in einer Glasretorte a vor, und erleichtert sie sehr, wenn dem Salze etwas Kupferoxyd beigemischt wird. (Fig. 274.)

(Fig. 274.)



Vorkommen des Sauerstoffes. Wie sich schon aus dem Obigen ergiebt, ist der Sauerstoff keineswegs hinsichtlich seines Vorkommens an die Atmosphäre gebunden. Im Gegentheile giebt es kein Element, welches den Sauerstoff hinsichtlich der Mannigfaltigkeit in seinem natürlichen Auftreten übertreffen würde. Wir kennen eine unabsehbare Reihe von natürlichen und künstlichen Verbindungen, an deren Zusammensetzung der Sauerstoff theilnimmt, und man berechnet annähernd, daß der Sauerstoff $^1/_5$ des Gesammtgewichtes aller uns bekannten Bestandtheile der Erde ausmacht. Daß er an den chemischen Lebensvorgängen der Organismen einen sehr wichtigen Antheil nimmt, wurde schon oben angedeutet. Seine Unentbehrlichkeit für den Athmungsproceß hat veranlaßt, ihn Lebensluft zu nennen. Die meisten Verbindungen, aus welchen die Organismen zusammengesetzt sind, oder die sich darin bilden, enthalten mehr oder weniger Sauerstoff.

Ozon. Die mächtigen Verwandtschaftskräfte, mit welchen der Sauerstoff ausgestattet ist, bedingen, daß er sich an einer großen Anzahl natürlicher und künstlicher chemischer Processe betheiligt und auch auf die Veränderungen, welche die leblosen Gebilde auf der Erde erleiden, den wesentlichsten Einfluß ausübt. So energisch er aber auch, namentlich im Entstehungsmomente zu wirken im Stande ist, so wird er doch dießfalls bei Weitem übertroffen durch das sogenannte Ozon, obwohl dieses auch nichts anderes als Sauerstoff ist. Danach kann der Sauerstoff nach Umständen mit verschiedenen Eigenschaften ausgestattet auftreten. Diese Erscheinung kann man auch bei mehreren anderen Elementen beobachten, welche unverbunden, mit nach Umständen sehr bedeutend modificirter Beschaffenheit sich darbieten. Man nennt diese deutlichen Abänderungen eines und desselben elementaren Stoffes:

Allotropie. allotropische Modificationen und die eigenthümliche, bis jetzt noch nicht erklärte Erscheinung derselben Allotropie. Das Ozon ist eine allotropische Modification des Sauerstoffs, welche den S. 461 besprochenen Zustand der chemischen Erregung in hohem Grade darbietet. Auch das dort erwähnte, durch den Einfluß des Lichtes mit so mächtiger Verwandtschaft zum Wasserstoff ausgestattete Chlor ist eine allotropische Modification dieses

Elementes. Das Ozon wurde zuerst beobachtet bei electrischen Entladungen und der electrolytischen Zersetzung des Wassers, wo es gemeinschaftlich mit gewöhnlichem Sauerstoff und einem Wasserstoffsuperoxyd auftritt. Man hat gelernt, es auf rein chemischem Wege zu erzeugen. Bringt man auf den Boden eines weiten Glaskolbens einige Stangen Phosphor, bedeckt diesen zum Theil mit Wasser und verschließt das Gefäß lose, daß leicht Luft zutreten kann, so beginnt der Phosphor sich alsbald zu oxydiren. Während dadurch ein Theil des Sauerstoffs in Anspruch genommen wird, verwandelt sich ein anderer in Ozon. Auch wenn man einen langsamen Sauerstoffstrom über feuchten Phosphor leitet, findet die Bildung von Ozon statt. Gewisse flüchtige Oele, von denen das Terpentinöl wohl den meisten Lesern bekannt sein dürfte, bewirken besonders leicht die Umwandlung des Sauerstoffs in Ozon, wenn man sie in dünnen Schichten ausgebreitet auf flachen Schalen der Luft preisgiebt. Außerdem giebt es noch mehrere Entstehungsweisen des Ozon's, die uns genau bekannt sind, während bis jetzt die Umstände nicht mit Bestimmtheit ermittelt wurden, welche veranlassen, daß sich auch in der Atmosphäre sehr häufig Ozon und zwar in schwankenden Mengen vorfindet. Man war früher der Meinung, daß der Ozongehalt der Luft auf den Gesundheitszustand der Menschen von großem Einflusse sei, hat aber durch sorgfältige Beobachtungen während Epidemien keinerlei Zusammenhang zwischen dem Ozongehalt der Luft und dem herrschenden Krankheitscharacter aufzufinden vermocht. Wie sich aus den obigen Mittheilungen ergiebt, war man bisher nicht im Stande, das Ozon in reinem isolirten Zustande zu erhalten. Man kennt es nur gemischt mit Stickstoff und gewöhnlichem Sauerstoff. Seine physikalischen Eigenschaften sind daher nur sehr unvollständig festgestellt. Es ist gasförmig, hat einen eigenthümlichen Geruch, reizt zu lebhaftem Husten und scheint ein etwa dreimal so hohes spec. Gewicht zu haben, wie der gewöhnliche Sauerstoff. Viele Substanzen, welche sich mit freiem gewöhnlichen Sauerstoff nicht direct verbinden, werden vom Ozon oxydirt. Dies beobachten wir z. B. beim Bleioxyd, welches an der Luft unverändert bleibt, aber in ozonhältiger Luft in Bleisuperoxyd übergeht. Ebenso wird Manganoxydul durch Ozon in Mangansuperoxyd umgewandelt. Viele organische Pigmente werden von Ozon gebleicht. Eine sehr auffallende und rasch eintretende Veränderung erleidet **Jodkalium**, KJ, durch Ozon, indem dieses zunächst das Kalium in Kaliumoxyd KO umwandelt und das Jod frei macht. Das so abgeschiedene Jod wird aber durch Ozon, falls dieses in größerer Menge vorhanden ist, zu Jodsäure oxydirt. Während Jodkalium in gewöhnlichem Sauerstoff völlig unverändert bleibt, ist also das Ozon selbst in der Kälte befähigt, das Jod aus seiner Verbindung mit dem Metall zu vertreiben. Es giebt kein Element, dessen Anwesenheit im unverbundenen Zustande man mit solcher Sicherheit nachweisen könnte, wenn es selbst in höchst geringer Menge vorhanden ist, wie Jod. Das Jod hat nehmlich die Fähigkeit, sich mit dem Stärkemehl zu einer tiefblau gefärbten Verbindung zu vereinigen, sobald es mit diesem zusammentrifft. Auf diesem Verhalten beruht die Einrichtung des sogenannten **Ozonometers**, welches dazu dient, den relativen (größeren oder geringeren) Gehalt der Luft an Ozon zu bestimmen. Dazu benutzt man ungefärbte Papierstreifen, die mit Stärkekleister überzogen sind, welchem man etwas Jodkalium zugesetzt hat. An der ozonhältigen Luft nehmen diese Streifen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes eine um so intensivere Farbe an, je mehr Ozon in der Luft

Ozonometer.

enthalten ist, und aus der Verschiedenheit des Farbentones läßt sich der verschiedene Ozongehalt der Luft erschließen.

Wasser.

Unter den Bestandtheilen unserer Atmosphäre haben wir bis jetzt nur Sauerstoff und Stickstoff genannt. Obwohl diese beiden Elemente in ihrem unverbundenen Vorkommen die atmosphärische Luft characterisiren, so bilden sie selbe doch nicht ausschließlich, und unter jenen Stoffen, welche sich neben den beiden genannten Gasen in der Atmosphäre finden, ist vor Allem das Wasser zu erwähnen, welches in schwankender, oft auf ein Minimum herabsinkender, oft aber sich dem höchsten Grad der Sättigung nähernder Menge als Wasserdampf in der Luft auftritt. Wir können also mit Recht sagen, daß letzterer einen normalen Bestandtheil der Luft ausmacht und wollen das Wasser nach seiner Beschaffenheit und Zusammensetzung eher besprechen, als den Stickstoff. Daß wir das Wasser in dreierlei Cohäsionszuständen, als Dampf, flüssiges Wasser und endlich starr, als Eis, kennen, braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden. Das reine Wasser ist völlig farb-, geruch- und geschmacklos, durchsichtig und bei den gewöhnlichen Temperaturen flüssig. Bei + 4° zeigt es seine größte Dichte und bei 0° erstarrt es zu Eis. Unter einem Luftdrucke von 28 Zoll siedet es bei 100° des hunderttheiligen Thermometers. Alles natürliche Wasser ist mehr oder weniger mit fremdartigen Substanzen verunreinigt, indem es theils nicht flüchtige salzartige Stoffe gelöst, theils Gase, besonders Luft und Kohlensäure, absorbirt enthält.

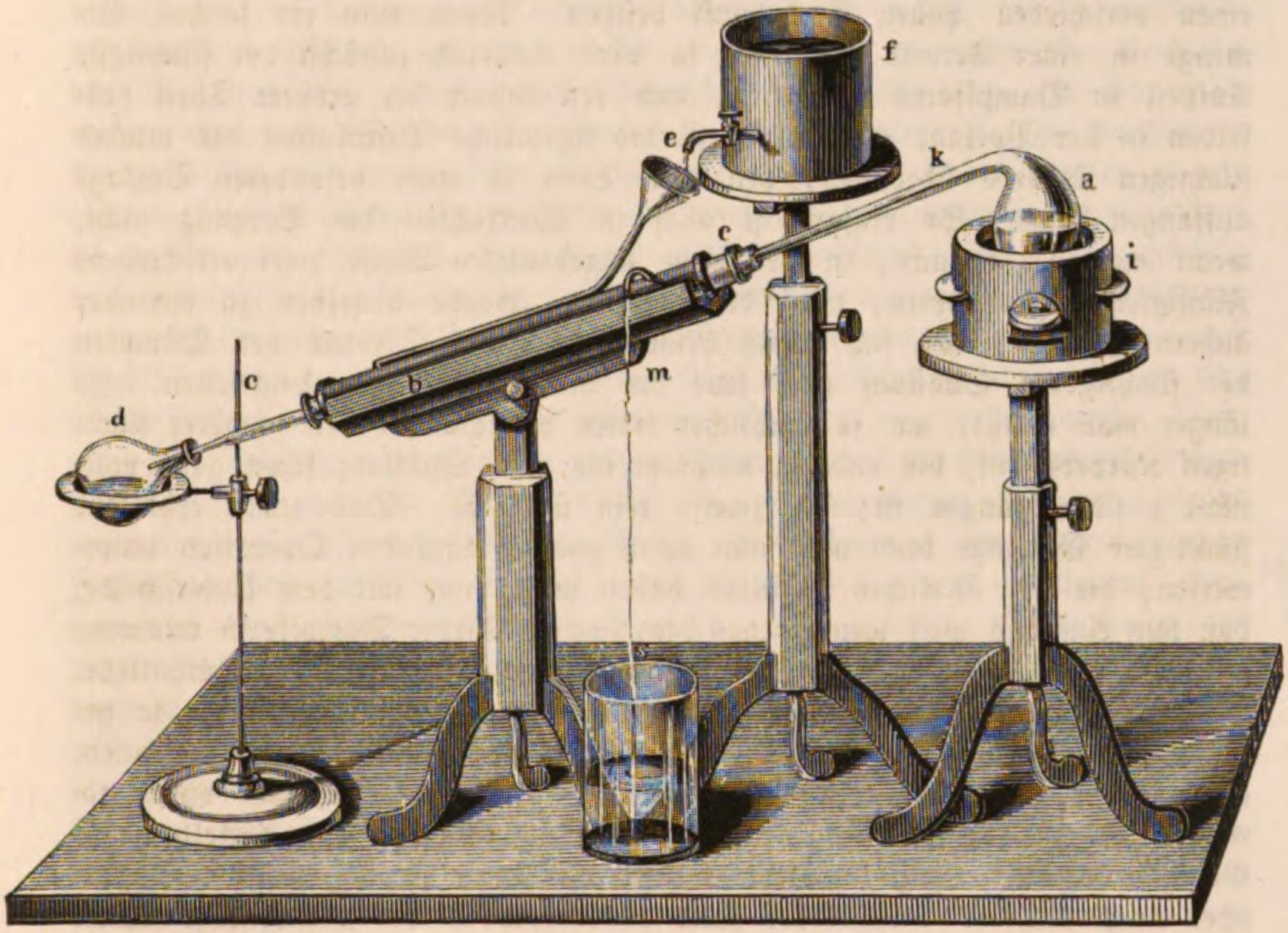
Destillation und destillirtes Wasser.

Um reines Wasser herzustellen, welches in den chemischen Laboratorien, sowie zuweilen selbst für technische Zwecke umfassend benutzt wird, muß das Wasser einer Destillation unterworfen werden. Diese Operation kommt sehr häufig zur Anwendung und verdient deshalb eine eingehende Besprechung.

Bekanntlich besitzen flüchtige Körper die Fähigkeit, wenn ihnen Wärme zugeführt wird, diese zu binden und dann in den elastisch-flüssigen Zustand überzugehen. Es wurde bereits in der Physik erklärt, wie die so hervorgebrachten Dämpfe sich wieder verdichten, die Körper den ursprünglichen Cohäsionszustand wieder annehmen, falls man ihnen durch Berührung mit kalten Stoffen die latente Dampfwärme wieder entzieht. Obwohl die Ursache dieser Erscheinung früher keineswegs erkannt ward und man sich dieselbe durch gewisse, ganz unbegründete, Annahmen erklärte, wenn überhaupt das Bedürfniß einer Erklärung sich fühlbar machte, so entging es keineswegs, daß dieses Verhalten geeignet ist, flüchtige Körper von anderen minder oder gar nicht flüchtigen abzutrennen. Von den jetzt gebräuchlichen Destillationsvorrichtungen in ihrer Gestalt wesentlich verschieden, obwohl wie natürlich nach demselben Princip eingerichtet, bestanden die Apparate der Alten aus einem Gefäße, welches die zu verflüchtigende Substanz aufnahm, und einem damit in Verbindung gebrachten Theil, wohin sich die beim Erwärmen entwickelten Dämpfe begaben, um sich dort durch Abkühlung zu condensiren und in einem anderen Gefäße der Vorlage anzusammeln. Die roheste Vorrichtung dieser Art, von welcher eine Nachricht bis zu uns gelangte, beschreiben Dioscorides und Plinius. Sie diente zur Gewinnung des flüchtigen Oeles aus gewissen Harzen und bestand aus einem irdenen Gefäße, dessen Boden erwärmt wurde, während es mit Wolle bedeckt war. Die flüchtigen Oele wurden zum Theil in der Wolle verdichtet und durch nachheriges Auspressen derselben gewonnen. Wie unvollkommen ist dieser

Vorgang im Vergleich mit der jetzt gebräuchlichen Methode! Das moderne Destillationsgefäß, welches die Chemiker gegenwärtig in ihren Laboratorien anwenden, heißt Retorte. Man verfertigt es gewöhnlich aus Glas in den verschiedensten Größen. Die Retorte a (Fig. 275) ist ein birnförmiges,

(Fig. 275.)



mit langem nach abwärts geneigtem Halse k versehenes Gefäß, dessen Boden man Behufs der Destillation erwärmt. Bei minder flüchtigen Substanzen reichen zuweilen die Wände des Retortenhalses zur Abkühlung aus. In sehr vielen Fällen aber muß man für letztere besonders sorgen, und dieß geschieht in der Regel vermittelst des Liebig'schen Kühlers. Er besteht zunächst aus einem Glasrohre c, mit welchem man den Retortenhals so verbindet, daß das Rohr gleichsam eine Fortsetzung des Halses vorstellt. Dieses Kühlrohr ist von einem weiteren aus Metallblech angefertigten Rohr b umgeben. Aus dem Gefäße f läßt man nun beständig kaltes Wasser durch e in den tiefsten Theil des Metallrohres fließen, während das erwärmte Kühlwasser oben bei m gleichmäßig in das untergesetzte Gefäß g abläuft. Dadurch wird der aus der Retorte strömende Dampf sehr vollständig abgekühlt und die Flüssigkeit, das Destillat, sammelt sich in der Vorlage d an. Sehr häufig, namentlich bei Destillationen im Großen, giebt man dem Kühlrohre eine spiralförmig gewundene Gestalt und setzt es in ein größeres Gefäß, das Kühlfaß, worin sich kaltes Wasser befindet.

Will man nun unter Anwendung des eben beschriebenen Apparates destillirtes Wasser gewinnen, so bringt man das unreine Wasser in die Retorte, beseitigt den ersten Antheil des Uebergegangenen, da dieser von den durch das Erhitzen zunächst ausgetriebenen Gasen wieder einen guten Theil

bei der Condensation absorbirt hat, und sammelt das später überdestillirende Wasser für sich. Es ist klar, daß die Destillation sich mit allen flüssigen und flüchtigen Substanzen durchführen läßt, und in der That wendet man sie sehr häufig nicht nur an, um nicht-flüchtige Körper von flüchtigen zu trennen, sondern oft ist es Aufgabe, zwei oder mehrere Flüssigkeiten zu scheiden, welche sämmtlich, nur in verschiedenem Grade, flüchtig sind, d. h. einen verschieden hohen Siedepunkt besitzen. Wenn man ein solches Gemenge in einer Retorte erwärmt, so wird natürlich zunächst der flüchtigste Antheil in Dampfform übergehen, und erst sobald der größere Theil desselben in der Vorlage angelangt, ist die eigentliche Destillation des minder flüchtigen Körpers begonnen, den man dann in einer besonderen Vorlage auffangen kann. So einfach ist aber in Wirklichkeit der Vorgang nicht, wenn man es versucht, in der eben angedeuteten Weise zwei verschiedene Flüssigkeiten zu trennen, denn die Adhäsion, welche dieselben zu einander äußern, bedingt, daß sich gleich beim Beginn des Siedens den Dämpfen der flüchtigeren Substanz auch jene der minder flüchtigen beigesellen. Je länger man erhitzt, um so reichlicher treten die Dämpfe des schwerer flüchtigen Körpers auf, bis endlich, nachdem die erste Substanz schon ganz vollständig übergegangen ist, die zweite rein übergeht. Das zuerst erhaltene flüchtigere Gemenge kann man nun einer zweiten ähnlichen Operation unterwerfen, die ein ähnliches Resultat haben wird, nur mit dem Unterschiede, daß nun Anfangs weit weniger von dem zweiten Körper Dampfform annimmt und das Product somit schon viel reiner sein muß, als das zuerst erhaltene. Wiederholt man mit diesem den Vorgang noch ein bis zwei Mal, so gelangt man endlich dazu, auch den flüchtigeren Bestandtheil rein zu gewinnen, aber immer, wie aus dem Mitgetheilten erhellt, unter Verlust einer gewissen Menge der Substanzen, da man stets eine Portion derselben als Gemische erhält. Noch complicirter wird der ganze Proceß, wenn man drei oder noch mehrere verschiedene flüchtige Körper in der bezeichneten Weise trennen soll, doch bleibt dem Chemiker häufig kein anderes Mittel übrig, um zur Kenntniß der Zusammensetzung gewisser Stoffe zu gelangen und ihre Bestandtheile zu isoliren. Man nennt diese Methode der Trennung eine Rektifikation.

Rektifikation. Sublimation.

Eine andere, auf demselben Principe beruhende, Operation bezweckt feste Körper zu verflüchtigen, welche sich natürlich bei der Condensation wieder als solche im kälteren Theile des Apparates verdichten. Man nennt dieß Sublimiren, die Operation selbst heißt Sublimation und war den Alchemisten auch schon bekannt. Das Gefäß, in welchem man die Sublimation vornimmt, ist gewöhnlich mit keiner Kühlvorrichtung versehen, sondern das verflüchtigte Product, Sublimat, verdichtet sich an den kühleren unbeheizten Wänden des Sublimationsgefäßes selbst und muß nach beendigter Operation mechanisch von denselben (bei gläsernen Vorrichtungen meist erst nach ihrer Zertrümmerung) abgelöst werden.

Wir wollen nun zunächst das Wasser hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung erörtern. Das Wasser besteht aus gleichen Atomgewichten Wasserstoff und Sauerstoff und seine Zusammensetzung läßt sich demnach durch die Formel HO ausdrücken. Das eine im Wasser vorfindliche Element haben wir bereits kennen gelernt, es ist nun an der Zeit, auch das zweite näher zu betrachten.

Der Wasserstoff

findet sich nur sehr spärlich unverbunden in einigen vulkanischen Gasexhalationen, namentlich auf Island, dagegen in Verbindung mit Sauerstoff, als Wasser, in sehr großen Quantitäten; auch macht der Wasserstoff in den meisten Fällen einen Bestandtheil der organischen Körper aus; endlich beobachtet man ihn hie und da mit Schwefel oder Chlor verbunden, dann immer nur in kleinen Quantitäten. Obwohl die Masse dieses Elementes im Vergleich mit der des Sauerstoffs eine namhaft geringere ist, wetteifert der Wasserstoff hinsichtlich seiner Wichtigkeit und Bedeutung, für sehr zahlreiche, natürliche chemische Vorgänge, mit dem Sauerstoff, zu welchem er übrigens sich in einem sehr entschiedenen Gegensatze findet, da er zu den electropositivsten Elementen gerechnet werden muß und demgemäß sein chemischer Charakter von dem des Sauerstoffs weitaus verschieden ist. So mächtig auch seine Affinität, freilich in der dem Sauerstoff entgegengesetzten Richtung, zu wirken vermag, so behauptet der Wasserstoff dennoch in den meisten seiner Verbindungen eine sehr merkwürdige Eigenthümlichkeit, indem er in sehr vielen Fällen darin durch andere Elemente vertreten oder ersetzt werden kann, ohne daß dadurch, bei noch so großer Verschiedenheit in den äußeren Eigenschaften, der chemische Character der so umgewandelten Verbindung eine wesentliche Veränderung erlitte. Seine Eigenschaften, im unverbundenen Zustande, sind in Kürze folgende: er ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, dessen specifisches Gewicht 0,069 beträgt. Man benutzt es wegen dieser außerordentlichen Leichtigkeit bekanntlich zum Füllen von Luftballons. Mit Sauerstoff gemengt und eingeathmet, wirkt es nicht schädlich auf die Respirationsorgane; mit einem glühenden Körper an der Luft zusammengebracht, entzündet es sich und verbrennt mit dem Sauerstoffe zu Wasser. Die Flamme leuchtet schwach, mit röthlichem Lichte, ist aber außerordentlich heiß, da bei der Verbindung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff ungemein viel Wärme frei wird. Mischt man die beiden Gase in dem zur Bildung des Wassers geeigneten Verhältnisse von 2 Raumtheilen Wasserstoff und 1 Raumtheil Sauerstoff, so erhält man das sogenannte Knallgas, welches beim Anzünden ungemein heftig explodirt, weil die Verbrennung sich durch die ganze Masse des Gases sehr rasch fortpflanzt, die hohe Verbrennungstemperatur den Wasserdampf sehr bedeutend ausdehnt und dadurch die Luft heftig erschüttert, oder, falls das Gas eingeschlossen war, ein sehr mächtiger Druck auf die Wände des Gefäßes ausgeübt wird.

Eigenschaften des Wasserstoffes.

Knallgas.

Die hohe Verbrennungstemperatur des Knallgases, die stärkste Hitze, welche wir überhaupt auf chemischem Wege erzeugen können, benutzt man in den sogenannten Knallgasgebläsen, welche natürlich so eingerichtet sein müssen, daß das vorräthige Gasgemenge nur allmälig zur Verbrennung gelangt. Man erreicht dieß entweder, indem das Gasgemenge aus dem Behälter zunächst unter Wasser in ein kleineres Gefäß ausströmt und von da erst in ein metallenes Rohr mit fein gebohrter Platinspitze gelangt, welches mit feinem Drahtgewebe angefüllt ist und wo also selbst, wenn die Verbrennung bis in das Rohr und von da weiter schreitet, der Gasvorrath durch Wasser abgesperrt bleibt, oder indem man die beiden Gase aus zwei verschiedenen Gasometern in ein engeres Rohr zusammenleitet, so daß sich immer nur beim Zusammenströmen in der Spitze unmittelbar vor der Verbrennung eine kleine Quantität Knallgas bildet. Natürlich kann der ausströmende Flammenkegel immer nur von geringem Umfange sein, doch reicht er aus, um starken Pla-

tindrath rasch zu schmelzen, Eisen und andere Metalle zu lebhafter Verbrennung zu führen, kleine Quantitäten Kieselsäure oder Thonerde zu schmelzen oder einen mäßigen Kegel aus gut gebranntem Kalk in so lebhafte Weißgluth zu versetzen, daß er ein höchst glänzendes Licht ausstrahlt, welches man als Drummond's Licht zur Beleuchtung von den sogenannten Nebelbildern, mikroskopischen Objecten u. dergl. benutzt und auch auf Leuchtthürmen einzuführen versucht hat.

Volumtheorie.

Obgleich uns die durch die Erfahrung und sorgfältige Versuche gefundenen Mischungsgewichte völlig unzweifelhaft erscheinen müssen, da sie eben auf unläugbaren Thatsachen beruhen, lassen sich dennoch über die relativen Gewichte der Atome verschiedene Meinungen aufstellen und in der That sind die Chemiker gegenwärtig in diesem Punkte keineswegs völlig einig. Die Verschiedenheit der dießfälligen Ansichten läßt sich auf die Meinung zurückführen, daß wenigstens in manchen Fällen das Aequivalent das Gewicht von mehr als einem Atom eines Elementes repräsentire, wodurch das Atomgewicht ein Bruchtheil des Aequivalents würde. So wissen wir z. B. mit aller Sicherheit, daß in 1 Aeq. Wasser 1 Aeq. Wasserstoff (1 Gewichtstheil) und 1 Aeq. Sauerstoff (8 Gewichtstheile) enthalten sind. Wollen wir die atomistische Theorie ohne Rücksicht auf andere Erscheinungen hier anwenden, so müssen wir einfach sagen, im Wasser sei je 1 Atom Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff verbunden. Nun hat man aber bei Körpern, die sich isolirt in gasförmigem Zustande herstellen lassen, nicht nur die Gewichtsverhältnisse, nach denen sie Verbindungen eingehen, sondern auch die Raumverhältnisse, welche sich dabei geltend machen, sorgfältig beobachtet und ist zu dem interessanten, merkwürdigen Resultat gelangt, daß die Volumina, nach welchen sich die gasförmigen Körper verbinden, noch viel einfachere Verhältnisse darbieten, als die Gewichte. Gay-Lussac, dem wir die wichtigsten hieher gehörigen Beobachtungen verdanken, wies nach, daß bei Bildung des Wassers sich stets 2 Raumtheile, z. B. 2 Cubikfuß Wasserstoff mit 1 Raumtheil (1 Cubikfuß) Sauerstoff verbinden und daß ferner nach der Vereinigung das Wasser als Dampf genau 2 Raumtheile ausfüllt. Es braucht wohl nicht erinnert zu werden, wie nach dem früher über die Aequivalente mitgetheilten, in dem Raumtheile Sauerstoff sich gerade 8 Gewichtstheile desselben vorfinden müssen, wenn in den beiden Raumtheilen Wasserstoff 1 Gewichtstheil davon enthalten war; allein der Umstand, daß eben 2 Raumtheile Wasserstoff nöthig sind, leitet zu der Vermuthung, es seien 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff in Verbindung getreten. Da nun derlei einfache Verhältnisse sich bei allen gasförmigen Körpern ohne Ausnahme herausstellen, so leitete Berzelius daraus den Grundsatz ab: daß bei gleichem Luftdruck und bei gleicher Temperatur ein und derselbe Raum bei gasförmigen Körpern immer von derselben Anzahl von Atomen ausgefüllt sei. Diesem sehr vielseitig unter dem Namen: Volumtheorie angenommenen Satze zufolge müssen somit bei Bildung des Wassers 2 Atome Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff zusammentreten und da, wie bemerkt, ähnliche Verhältnisse sich auch bei andern Verbindungen häufig herausstellen, so pflegen viele Chemiker in solchem Falle das Aequivalent durch 2 zu theilen, um so das Atomgewicht des Elementes zu erhalten. Wir wollen die anderweitigen Gründe, welche für ein solches Verfahren sprechen, unberührt lassen und den Leser erinnern, daß wir der Einfachheit und Einförmigkeit willen bei der folgenden Darstellung die oben mitgetheilten Aequivalente den Atomgewichten gleichsetzen werden, und machen nur

darauf aufmerksam, wie in vielen chemischen Werken und Schriften, wo die Volumtheorie volle Geltung findet, man das Symbol für Doppelatome, die hier in Verbindung vorausgesetzt werden müssen, durch einen Strich bezeichnet, welcher durch das Symbol des Aequivalents gezogen wird. HO bezeichnet uns z. B. Wasser als eine Verbindung von gleichen Acquivalenten seiner Bestandtheile. HO aber bedeutet bei denselben Gewichtsverhältnissen, daß in der Verbindung 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff vereinigt sind.

Obwohl im Allgemeinen die directe Vereinigung des Sauerstoffs mit Wasserstoff hauptsächlich unter Vermittlung von Wärme stattfindet, so beobachten wir eine unmittelbare Wasserbildung auch in gewöhnlicher Temperatur, wenn die beiden Bestandtheile mit gewissen fein vertheilten Körpern in Berührung kommen, welche die Gase auf ihrer verhältnißmäßig sehr großen Oberfläche durch mechanische Anziehung, Adhäsion, verdichten und sie so in einen Zustand erregter Affinität versetzen. Hiezu eignet sich ganz besonders fein vertheiltes Platin als sogenannter Platinschwamm oder Platinmohr. In dieser Gestalt besitzt das genannte Metall in hohem Grade die Fähigkeit, Gase zu verdichten und so ihre Verbindung zu veranlassen, und das Döbereiner'sche Feuerzeug, welches wohl jedem Leser dieser Zeilen bekannt sein dürfte, stellt eine sehr verbreitete practische Anwendung dieser Erscheinung vor. Man läßt bei dieser Vorrichtung Wasserstoffgas auf lockeren Platinschwamm in die Luft treten. Dieser enthält bereits auf seiner Oberfläche verdichteten Sauerstoff. Sobald der Wasserstoff darauf strömt, findet sogleich directe Wasserbildung statt, in Folge derselben natürlich auch Wärmeentwicklung, welche rasch das Erglühen des Platins und sofort die Entflammung des Wasserstoffs herbeiführt. Bildung des Wassers.

Platinschwamm und manche andere poröse Körper veranlassen aus dem eben erörterten Grunde auch andere Verbindungen, welche ohne ihre Vermittlung nicht stattfänden. So verbrennt bekanntlich der Schwefel an der Luft nur zu schwefliger Säure, welche, mag ihr noch so viel Sauerstoff weiter dargeboten werden, sich nicht höher oxydirt. Ist aber Platinschwamm gegenwärtig, so verwandelt sich die schweflige Säure in die höchste Oxydationsstufe des Schwefels: die Schwefelsäure. Man pflegt solche Wirkungen als sogenannte Contactwirkungen zu bezeichnen; ihr nächster Grund ist, wie erwähnt, die große Verdichtung der Gase auf der Oberfläche der starren Körper.

Welche ungeheure Quantität von Wasser sich in tropfbar flüssigem, dampfförmigem und starrem Zustande (als Eis) auf der Erde vorfindet, ist dem Leser erinnerlich. Es ergibt sich schon aus der Massenhaftigkeit dieses Vorkommens die großartige Bedeutung dieser Verbindung. Es gibt auch in der That keine andere, welche bei den natürlichen und künstlichen chemischen Processen in solchem Umfange und in so zahlreichen Fällen eine überaus wichtige Rolle übernähme, wie eben das Wasser, ganz abgesehen von den mannigfaltigen mechanischen Umänderungen, welche es durch seine Strömungen und den beständigen Kreislauf, worin es begriffen ist, hervorruft. Die Mehrzahl der Fälle, wo es sich um die Herbeiführung eines flüssigen, somit beweglichen Zustandes der Körper handelt, um sie irgend einer chemischen Umwandlung zuzuführen, wird durch das Wasser vermittelt, welches als das einfachste und zugänglichste Lösungsmittel für sehr viele Stoffe in unseren Laboratorien dient. Da die sogenannte Auflösung eines Körpers ein Vorgang ist, welcher Auflösung. sowohl in der Natur häufig eintritt, wie in äußerst zahlreichen Fällen für wissenschaftliche und gewerbliche Zwecke benutzt wird, so ist es wohl nöthig,

die damit zusammenhängenden Erscheinungen und Verhältnisse hier näher zu erläutern. Wir wissen, nach dem schon früher über die Beschaffenheit der Flüssigkeiten Mitgetheilten, daß diese das Vermögen besitzen, verschiedene starre Körper in Folge der zur Wirksamkeit gelangenden Adhäsion in den flüssigen Zustand zu versetzen und sich damit hierauf innig zu mengen. Dieser Vorgang wird bekanntlich Lösung oder Auflösung genannt, mit welchen Namen man auch die Flüssigkeit, welche einen oder mehrere starre Körper gelöst enthält, zu bezeichnen pflegt. Gerade wie durch Zuführung von Wärme starre Körper flüssig gemacht, geschmolzen werden können, ist auch der Act der Auflösung von der Bindung einer gewissen Menge Wärme begleitet und die im Uebrigen von der Natur des zu lösenden Körpers und der Flüssigkeit, des sogenannten Lösungsmittels, abhängige Quantität der aufgenommenen Substanz wird mit der Temperatur des Lösungsmittels in der Regel gesteigert; nur in seltenen Fällen stimmt eine höhere Temperatur die Löslichkeit eines Körpers herab. Es bedarf wohl kaum näher besprochen zu werden, daß nicht alle starre Körper in allen bekannten Flüssigkeiten gleich oder überhaupt löslich sind. Jedermann kennt die Löslichkeit des Zuckers oder Kochsalzes in Wasser, während bekanntlich diese Flüssigkeit Metalle, Kohle und viele andere Körper gar nicht oder nur in höchst geringer Menge aufnimmt. Das Kochsalz ist in reinem Weingeist, Aether und manchen anderen Flüssigkeiten völlig unlöslich. Diese nehmen dagegen reichlich Fette, Harze u. s. w. auf; Stoffe, denen gegenüber sich das Wasser völlig indifferent verhält. Es herrschen nach diesen wenigen Andeutungen in dem dießfälligen Verhalten der Körper sehr bedeutende Unterschiede, von welchen wir gestehen müssen, daß eine genügende Erklärung derselben bis jetzt zu geben noch nicht möglich war. Am allerwenigsten konnte man für diese mannigfaltigen Modificationen in der Aeußerung der Adhäsion ein einfaches Gesetz aufstellen.

Fragen wir nach den Mitteln, die man zur Anwendung bringen kann, um aus einer Lösung den darin vorfindlichen starren Körper wieder zu gewinnen, so bieten sich uns mehrere Wege dar. Das einfachste Verfahren ist eine passende Beseitigung des Lösungsmittels, und dazu wird gewöhnlich die Verdampfung der Flüssigkeit benützt, wenn diese überhaupt flüchtig ist. Dieses Mittel kommt gewöhnlich zur Anwendung, und man leitet entweder die langsame Verdunstung an der Luft, oder das raschere Verdampfen durch Erwärmen von Außen ein. Ein zweiter Behelf besteht in der passenden Umwandlung des Lösungsmittels, wodurch es unfähig wird, den Körper weiter flüssig zu erhalten. So sind z. B. viele Salze im Wasser sehr leicht, dagegen in, selbst mit viel Wasser vermischtem, Weingeist gar nicht löslich. Man hat in diesem Falle daher nur nöthig, der wässerigen Lösung starken reinen Weingeist zuzusetzen, um so eine Flüssigkeit herzustellen, in welcher das Salz nicht mehr gelöst verharren kann, und dieses muß sich daher im starren Zustande wieder abscheiden. Da ferner die Wärme die Löslichkeit gewöhnlich steigert, so genügt in vielen Fällen eine Abkühlung der Lösung, um wenigstens einen Theil des aufgenommenen Körpers in den starren Zustand überzuführen. Eine Flüssigkeit, welche bei einer bestimmten Temperatur so viel eines gelösten Körpers enthält, als sie nach der Natur beider überhaupt aufzunehmen vermag, wird eine gesättigte Lösung genannt. Ist durch irgend eines der angeführten Mittel eine Substanz theilweise wieder abgeschieden worden, so nennt man die zurückbleibende Flüssigkeit Mutterlauge.

Die mannigfaltigen Löslichkeitsverhältnisse der Körper bieten dem Chemiker sehr oft ein bequemes Mittel dar, um verschiedene Stoffe von einander zu trennen und in völlig reinem Zustande herzustellen.

Die Aufgabe, verschiedene Körper aus ihren Lösungen in reinem Zustande zu gewinnen, wird im hohen Grade durch die Fähigkeit vieler Stoffe erleichtert, beim Uebergange aus dem flüssigen in den starren Zustand zu krystallisiren. Ueber die Krystalle und ihre Formen soll später (in der Mineralogie) das Wesentlichste ausführlicher mitgetheilt werden. Hier genügt anzuführen, daß die Theilchen einer gleichartigen Substanz, wenn ihnen ihr Cohäsionszustand Beweglichkeit darbietet, beim Uebergang in den festen Zustand sich häufig zu regelmäßigen oder symmetrischen, von Flächen, Kanten und Körperwinkeln begrenzten Gestalten, vereinigen, deren Formen von der Natur des krystallisirten Körpers in hohem Grade abhängt und bei deren Bildung Theilchen eines zweiten, fremden Körpers, welchem die Fähigkeit abgeht, sich im Sinne der Gestalt der ersten Substanz neben einander zu lagern, nicht thätig sein können. Doch ist es ganz gut möglich, daß, während der Entstehung eines Krystalls, von demselben Theilchen eines fremden Körpers mechanisch eingeschlossen werden und wie man häufig beobachtet, den krystallisirten Stoff verunreinigen. Wiederholtes Auflösen und Krystallisirenlassen, das sogenannte Umkrystallisiren, beseitigt jedoch in der Regel die Beimengung fremder Substanzen, denn neben der verschiedenen Löslichkeit der Körper kömmt hier eben noch die Fähigkeit mit ins Spiel, regelmäßige Krystallgestalten zu liefern, deren Formen bei den verschiedenen Substanzen nicht übereinstimmen, während die in Entstehung begriffenen Krystallgebilde die homogenen Theilchen aus der Flüssigkeit anziehen, um sie beim Ausbau des Krystalls zu verwenden. Krystallbildung.

Obwohl die Alchemisten den Kunstgriff, durch Krystallisation einen Körper rein darzustellen, bei einigen Substanzen in Anwendung zu bringen wußten, so blieben doch die Formen der so gewonnenen Krystalle als etwas Unwesentliches und Unerklärliches von ihnen und ihren nächsten Nachfolgern völlig unbeachtet, und es war der neueren Zeit vorbehalten, die Lehre von den Gestalten der Krystalle, die Krystallographie, wissenschaftlich zu behandeln, und wie wir später sehen werden, in vielen Fällen zwischen der Krystallgestalt und chemischen Beschaffenheit eines Körpers einen merkwürdigen Zusammenhang aufzufinden.

Bei der Entstehung von Krystallen aus wässrigen Lösungen übernimmt das Wasser sehr häufig eine eigenthümliche Rolle. Es wird hiebei von den krystallisirbaren Körpern nach constanten Gewichtsverhältnissen zu einem oder mehreren Atomen gebunden und mit beim Bau des Krystalles verwendet, weßhalb man es auch in diesem Falle Krystall- oder Krystallisationswasser nennt. Das Krystallwasser nimmt nicht etwa an der Zusammensetzung des krystallisirbaren Körpers Antheil, es ist viel mehr mechanisch als chemisch gebunden und verdampft deßhalb sehr häufig leicht unter Zerfallen des Krystalls an der Luft, was man Verwittern der Krystalle nennt. Wir sehen in der Bindung von Krystallisationswasser eine Wirkung der Adhäsion, welche sich schon sehr jener der Affinität nähert, da die mechanische Anziehung sich schon durch die Gewichtsverhältnisse, welche die Verwandtschaft charakterisiren, der letzteren nähert. In den Formeln drückt man das Krystallwasser zum Unterschiede von dem Hydratwasser durch aq. aus. Krystallwasser.

So indifferent das Wasser beim ersten Anblick erscheint, so groß und mannigfaltig ist seine Fähigkeit, eigentliche chemische Verbindungen einzugehen, Hydratwasser.

die man im Allgemeinen als Hydrate zu bezeichnen pflegt. In den Hydraten ist das Hydratwasser häufig der Vertreter anderer mit mehr Affinität ausgestatteter Substanzen, welche es sogleich verdrängen, wenn sie mit dem Hydrat in Berührung kommen. Besonders befähigt Hydratwasser zu binden erscheinen die kräftigeren Säuren und Basen. Sobald diese sich nun unter Bildung eines Salzes vereinigen, so geben sie beiderseits ihr Hydratwasser ab, welches unverbunden zum Vorschein kommt.

Zerleglichkeit des Wassers.

Eine andere hohe Bedeutung des Wassers beruht auf seiner großen Zerleglichkeit, die es geeignet macht, seine Bestandtheile unter den verschiedensten Umständen an andere Körper abzugeben. Die überwiegende Mehrzahl der uns näher bekannten chemischen Processe findet unter Vermittlung des Wassers statt, welches dabei nicht nur häufig als Hydrat- oder Krystallwasser betheiligt ist, sondern in dem eben angedeuteten Sinne wirkt und durch Abgabe seiner Bestandtheile die Bildung neuer Verbindungen veranlaßt.

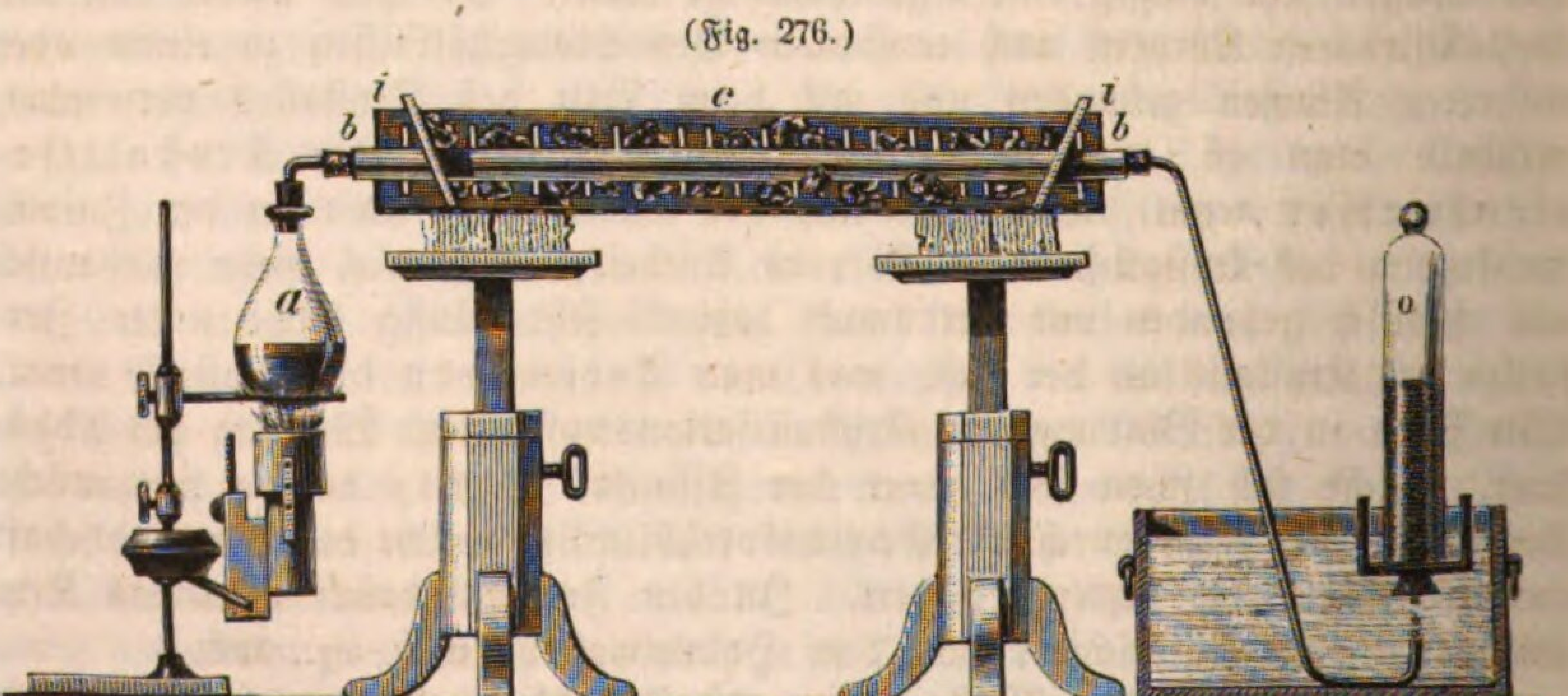
Bedeutung des Wassers für die organische Welt.

Alles Leben wird durch Wasser vermittelt. Diese Flüssigkeit ist es, welche dem keimenden Samenkorn wie der kräftigsten Eiche unausgesetzt jene Stoffe in passender Lösung zuführt, aus deren Zersetzung und Umwandlung die organischen Gebilde hervorgehen. In dem Organismus der Pflanze und des Thieres ist es wieder das Wasser, welches die Bewegung der Stoffe im Innern und die chemische Einwirkung derselben auf einander in einer unabsehbaren Reihe von chemischen Umwandlungen ermöglicht, die ohne diese Flüssigkeit durchaus nicht stattfinden könnte.

Darstellung des Wasserstoffs.

Auf der oben erwähnten Zerleglichkeit des Wassers beruhen auch die Darstellungsmethoden des Wasserstoffs, welcher z. B. bei der Electrolyse des Wassers sich am negativen Pol abscheidet und dort aufgesammelt werden kann. Manche Metalle entziehen dem Wasser unter Bildung von Oxyden den Sauerstoff, wobei natürlich der Wasserstoff frei wird. Bei einigen findet dieß schon in gewöhnlicher Temperatur statt; so braucht man nur ein Stückchen Natrium unter eine mit Wasser gefüllte Glocke zu bringen, um diese sich rasch mit Wasserstoff füllen zu sehen, während das Metall als Oxydhydrat sich im Wasser löst. Manche Metalle bedürfen, um diese Zersetzung zu veranlassen, einer höheren Temperatur, wie z. B. das Eisen, welches in der Glühhitze leicht Wasserdampf, den man darüber leitet, zerlegt und sich in Eisenoxydulоxyd umwandelnd, den Wasserstoff abscheidet. Bringt man Fig. 276 in den Glühofen c eine mit Eisendraht oder kleinen Nägeln an-

(Fig. 276.)



gefüllte schwer schmelzbare Glasröhre b, umgibt sie mit glühenden Kohlen, welche durch die Schirme i von den beiden Enden der Röhre getrennt sind, erhitzt hierauf das in dem Kolben a befindliche Wasser zum Sieden, so daß dessen Dampf durch die Röhre streichen muß, so sammelt sich in der Glocke o reines Wasserstoffgas. Am bequemsten, obwohl nicht völlig rein, da der Kohlegehalt der entsprechenden Metalle eine geringe Beimengung von Kohlenwasserstoffen veranlaßt, stellt man den Wasserstoff durch Zusammenbringen von verdünnter Schwefelsäure mit Zink oder Eisen in einer Gasentwickelungsflasche a Fig. 272 S. 473 dar. Das Schwefelsäurehydrat, in Berührung mit den genannten Metallen, vermittelt, daß der Sauerstoff des Hydratwassers an das Metall tritt, das Oxyd sich mit der Säure zu einem schwefelsauren Salz vereinigt, während der Wasserstoff gasförmig entweicht.

Außer dem wichtigsten Oxyde des Wasserstoffs, welches wir eben besprochen haben, kennt man noch zwei Superoxyde. Das Erste hat die Formel HO_2 und entsteht in wässeriger Lösung, wenn Bariumsuperoxyd BaO_2 mit Säuren zusammengebracht wird, wobei die Hälfte des darin vorhandenen Sauerstoffs an Wasser tritt, während die Säure sich mit dem basischen Bariumoxyd BaO verbindet. Es bildet im reinen Zustande eine dickliche eigenthümlich riechende und schmeckende farblose Flüssigkeit, die sich in der Wärme und bei Berührung mit vielen Körpern sehr rasch, zuweilen unter Explosion in Wasser und ihr 470faches Volum Sauerstoff zerlegt. Das zweite Wasserstoffsuperoxyd HO_3 hat man als Begleiter des Sauerstoffs bei der Electrolyse des Wassers erkannt. Es wirkt gleich dem Ersten mächtig oxydirend. Wasserstoffsuperoxyd.

Der Stickstoff,

welchen wir bereits als einen Gemengtheil der atmosphärischen Luft kennen gelernt haben, findet sich in der Natur lange nicht in so großen Massen wie Sauerstoff und Wasserstoff, doch theilt er mit diesen die hohe Bedeutung, namentlich für die Organismen, indem er einen wesentlichen Bestandtheil sehr vieler organischer Verbindungen ausmacht, von denen einige wegen ihrer großen Verbreitung im Thier- und Pflanzenreiche besonders interessant sind. An der Zusammensetzung der festen Erdrinde betheiligt sich der Stickstoff nahezu gar nicht. Es giebt wohl einige natürliche Verbindungen desselben, welche wir in starrem Zustande antreffen, ihre Menge ist aber gegenüber den anderen Stoffen, aus welchen die Erdrinde besteht, verschwindend klein. Um Stickstoff darzustellen, kann man am bequemsten die Luft benutzen, welche aber neben Stickstoff und Sauerstoff auch noch verschiedene andere gasförmige Körper in geringer Quantität enthält, die zumeist einen sauren Charakter besitzen. Dies gilt namentlich von der Kohlensäure, welche unter allen übrigen Beimengungen der Luft noch am reichlichsten in derselben auftritt. Handelt es sich darum, diese neben dem Sauerstoff wegzuschaffen, so leitet man Luft durch eine Röhre, die Kalk oder Kali enthält. Diese kräftigen Basen binden die Kohlensäure zu starren Salzen, welche in den Röhren zurückbleiben. Es ist nun leicht, den Sauerstoff, der im Gegensatze zum Stickstoff mit so bedeutenden Affinitäten ausgestattet ist, zu entfernen. Man braucht die so gereinigte Luft nur über glühende Kupferspäne zu leiten oder in einer Glocke über Quecksilber mit Körpern, welche leicht Sauerstoff aufnehmen, zusammenzubringen, wie z. B. gallussaures Kali, Phosphor, feuchte Eisenspäne u. dergl., um den Sauerstoff fortzuschaffen und im Rückstande reines Stickgas zu erhalten. Dieses bildet ein permanentes Gas von

0,971 specifischem Gewicht, ist farb- und geruchlos, nicht brennbar, unterhält die Verbrennung auch nicht und erscheint chemisch höchst indifferent. Von Wasser wird es nur in sehr geringer Menge absorbirt. Directe Verbindungen geht es nahezu gar nicht ein und dann immer nur sehr spärlich; mit Sauerstoff vereinigt sich der Stickstoff in fünf Verhältnissen zu Stickstoffoxydul, Stickstoffoxyd, salpetriger Säure, Untersalpetersäure und Salpetersäure. Letztere ist jedenfalls die wichtigste Oxydationsstufe des Stickstoffs. Man findet Spuren derselben im Regenwasser bei Gewittern als Hydrat und kann dieses Vorkommen sich leicht erklären, da man beobachtet hat, daß feuchte Luft, wenn man sehr zahlreiche electrische Entladungen hindurchgehen läßt, dann kleine Mengen Salpetersäurehydrat enthält. Im Uebrigen entsteht die Salpetersäure aber nur, wenn unter günstigen Umständen Stickstoff im Entstehungsmomente mit Sauerstoff in Berührung kömmt, besonders in Gegenwart von kräftigern Basen, wie Kaliumoxyd, Kalk u. dergl. Die Salpetersäurebildung tritt namentlich bei der Fäulniß und Verwesung stickstoffhaltiger Substanzen, wie thierischer Abfälle u. dergl. ein, wo sich unter Vermittelung des Sauerstoffs der Luft salpetersaure Salze bilden, die dann sich aufhäufen und, passend gesammelt und gereinigt, uns das Material bieten, um die Salpetersäure zu bereiten; denn wir kennen keinen Proceß, der es uns möglich machte, in bequemerer und ausgiebigerer Weise Salpetersäure darzustellen.

Oxydationsstufen des Stickstoffs.

Salpetersäure.

Wasserfreie Salpetersäure.

Man kennt die wasserfreie Salpetersäure als eine flüchtige, farblose, krystallisirte, sehr leicht zerlegliche explodirbare Substanz. Mit Wasser vereinigt sich die Säure in constanten Verhältnissen zu Hydraten.

Hydrate der Salpetersäure.

Das erste Hydrat NO_5,HO bildet eine farblose bewegliche Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht 1,54 beträgt. Seine Verwandtschaft zu Wasser ist noch so groß, daß es beim Verdunsten an der Luft aus dieser Wasser aufnimmt, so einen minder flüchtigen Körper bildet und dadurch die Erscheinung eines Rauches oder Nebels hervorbringt, indem nun die Dunstbläschen in der Luft sichtbar schweben; ein Verhalten, welches übrigens die Salpetersäure mit vielen anderen Körpern von ähnlicher Beschaffenheit theilt. Bei 86^0 beginnt dieses Hydrat zu sieden, verflüchtigt sich aber nur theilweise unzersetzt, indem es durch Wärme in Sauerstoff, Untersalpetersäure und Wasser zerfällt, welches letztere von einem anderen Antheil der Säure gebunden wird. Die Untersalpetersäure ertheilt dem Hydrat eine gelbe Färbung, diese beobachtet man auch, wenn die Säure dem Lichte ausgesetzt bleibt, da auch dieses eine ähnliche Wirkung wie die Wärme ausübt und eine theilweise Zerlegung der Salpetersäure veranlaßt. Die Dämpfe derselben haben einen höchst erstickenden sauren Geruch und wirken sehr schädlich auf die Respirationsorgane. Organische Stoffe werden davon meistens rasch zerstört, die Säure wirkt deßhalb ungemein ätzend und ruft auf der Haut leicht gefährliche Wunden hervor. Mit Wasser reichlich verdünnt, bildet sie eine farblose, stark sauer schmeckende Flüssigkeit. Mengt man sie mit 3 Atomen Wasser, so verbindet sie sich mit demselben zu dem zweiten Hydrat $NO_5,4HO$ einer farblosen Flüssigkeit, die bei 123^0 siedet, ein specifisches Gewicht von 1,42 hat und an der Luft nicht raucht, sonst aber die Beschaffenheit des ersten Hydrats zeigt.

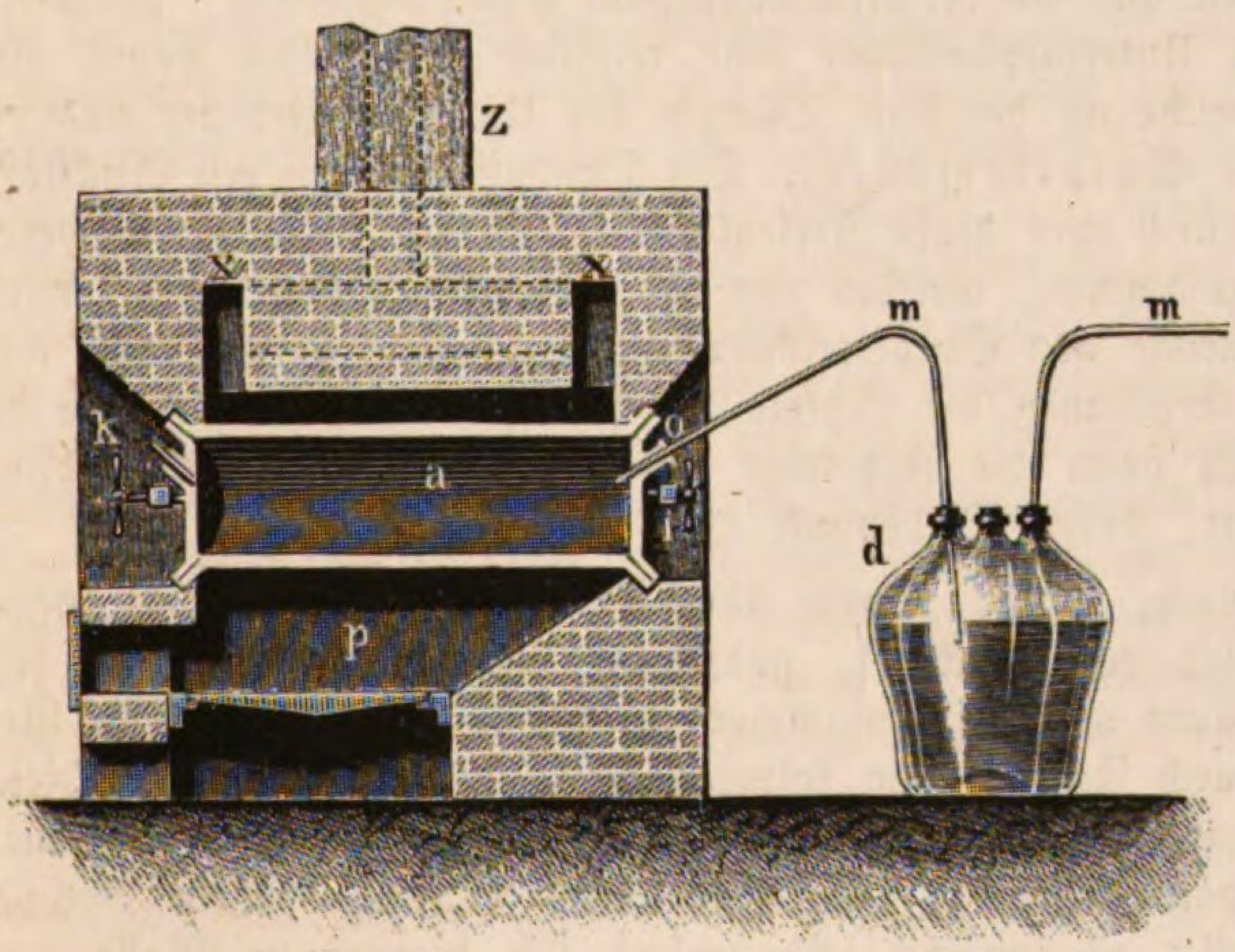
Darstellung und Fabrikation der Salpetersäure.

Beide Hydrate, sowie in vielen Fällen mit Wasser verdünnte Salpetersäure, wirken auf viele Körper kräftig oxydirend, wobei nach Umständen eine oder die andere der niedrigeren Oxydationsstufen auftreten und häufig unverbundener Stickstoff frei wird. Dieses Verhalten bedingt auch die viel-

seitige Anwendung der Salpetersäure, welche stets durch Zersetzung von salpetersaurem Kaliumoxyd oder Natriumoxyd mit Schwefelsäurehydrat und Erwärmen in einer Retorte dargestellt wird. Die Verwandtschaft der Schwefelsäure zu den beiden Basen ist größer als die der Salpetersäure, so daß die Schwefelsäure an das Kalium- oder Natriumoxyd tritt, während das Hydratwasser sich mit der Salpetersäure vereinigt und mit derselben sich als Hydrat verflüchtigt. Um diese Zerlegung bei einer möglichst niedrigen Temperatur veranlassen zu können, ist es jedoch nöthig, damit die theilweise Zerlegung in Sauerstoff und Untersalpetersäure thunlichst vermieden werde, 2 Atome Schwefelsäure auf 1 Atom des salpetersauren Salzes zu nehmen, wo sich dann zweifach schwefelsaures Salz bildet, welches nach vollständiger Verflüchtigung der Salpetersäure als Rückstand in der Retorte bleibt. Will man verdünntere Säuren erzeugen, so setzt man die entsprechende Menge Wasser gleich Anfangs zu und es destillirt dann ein Gemenge der beiden Hydrate über. Ein solches, beiläufig von einem specifischen Gewicht von 1,3, wird gewöhnlich auch im Großen unter dem Namen **Scheidewasser** in den chemischen Fabriken erzeugt. Man bedient sich aber da nicht gläserner Retorten, sondern gußeiserner Cylinder, welche mehrere Centner des Gemenges aufnehmen. Die Cylinder a Fig. 277 sind in einem Ofen gewöhnlich paarweise so eingemauert, daß die auf dem Roste des Feuerraums p aufgelegten Brennstoffe ihre Flamme um den Cylinder spielen lassen können, wonach die Verbrennungsgase durch die Züge x in die Esse z gleiten. Der vordere Theil des Cylinders ist mit dem Deckel i versehen, welcher das aufwärts gebogene kurze Rohr o enthält, das seinerseits das gebogene Glasrohr aufnimmt, durch welches die Dämpfe der Salpetersäure entweichen. Der zweite Deckel c gestattet, nachdem der Cylinder vorerst mit dem Salz gefüllt und verschlossen wurde, durch das Rohr k die nöthige Schwefelsäure hineinfließen zu lassen, wonach man durch allmäliges Erhitzen die Zersetzung und Destillation veranlaßt. Die Einrichtung der Vorlagen, wo sich die Salpetersäure ansammelt, macht die Zeichnung ersichtlich. Es sind dreihälsige Flaschen aus Glas oder Steinzeug, in welche das Rohr m und das Rohr n eingekittet werden. Der mittlere Hals dient nöthigenfalls zum Einfüllen von Wasser oder Entleeren der Flasche, zu welchem Behufe man jedoch gewöhnlich einen Abflußhahn am Boden derselben anbringt. Was sich nicht in d condensirt, gelangt durch n in eine zweite ähnliche Flasche von gleicher Einrichtung, von da etwa in eine dritte

Scheidewasser.

(Fig. 277.)



u. s. w. Man verwendet die Salpetersäure hauptsächlich als Oxydationsmittel von Metallen, wobei die Mehrzahl derselben nicht nur Sauerstoff aufnimmt, sondern das gebildete Oxyd sich mit dem unzersetzten Antheile der Säure zu einem löslichen salpetersauren Salz vereinigt.

Stickstoffoxyd.

Bringt man Kupfer mit verdünnter Salpetersäure zusammen, so giebt diese an das Metall 3 Atome Sauerstoff ab, während sich Stickoxydgas, NO_2 entwickelt, das über Wasser aufgefangen werden kann. Das Stickstoffoxyd stellt ein farbloses, nicht brennbares permanentes Gas von 1,039 specifischem Gewicht dar. Lebhaft brennende Körper brennen darin unter namhafter Lichtentwickelung fort, während der Stickstoff abgeschieden wird. Wasser absorbirt nur $^1/_{20}$ seines Volums davon. Eingeathmet führt es Erstickung herbei; wird es an die Luft gebracht, so verwandelt es sich augenblicklich in Untersalpetersäure, welche rothbraune Dämpfe bildet, indem 2 Atome Sauerstoff zu der Verbindung treten.

Untersalpetersäure.

Die Untersalpetersäure entsteht auch, wenn Salpetersäurehydrat mit Zucker und ähnlichen organischen Stoffen erwärmt wird; ebenso beim Einleiten von Stickoxyd in Salpetersäurehydrat. Sie ist ein sehr flüchtiger Körper. Bei etwa -20^0 erhält man sie als eine farblose krystallinische Masse, welche bei $+9^0$ schmilzt und bei weiterem Erwärmen sich immer dunkler rothbraun färbend, bei 23^0 endlich siedet und sich in die erwähnten rothbraunen Dämpfe verwandelt, welche einen erstickenden Geruch haben und die Respirationsorgane heftig angreifen. Salpetersäure absorbirt die Untersalpetersäure sehr reichlich und bildet damit eine rothe Flüssigkeit, welche an der Luft Dämpfe der Untersalpetersäure ausstößt (r o t h e r a u c h e n d e S a l p e t e r s ä u r e). Die Oxydationsstufen des Stickstoffs charakterisiren sich durch ihre große Zerleglichkeit. Bringt man Untersalpetersäure mit Wasser zusammen, welches von ihr chemisch nicht gebunden wird, so entsteht ein Gemenge von Salpetersäure und salpetriger Säure, von welchem bei gelindem Erwärmen die Letztere abdestillirt werden kann. In der Vorlage sammelt sich dann die salpetrige Säure als eine tief indigoblaue bewegliche Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei -10^0 liegt.

Salpetrige Säure.

Stickstoffoxydul.

Es erübrigt noch, einige Worte über das Stickstoffoxydul zu sagen, welches sich, gemengt mit Stickstoff, gasförmig entwickelt, falls man sehr verdünnte Salpetersäure mit Zink zusammenbringt. Rein läßt sich diese Verbindung erhalten durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniumoxyd. Dieses Salz enthält als Base eine Verbindung von Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche wir später näher zu besprechen haben werden. Beim Erhitzen dieses Salzes schmilzt es zunächst und zerlegt sich hierauf in Wasser und Stickoxydul NO Das Stickstoffoxydul zeigt weder Geruch noch Geschmack, hat ein spec. Gew. von 1,527, unterhält die Verbrennung sehr lebhaft, nahezu wie Sauerstoff, läßt sich einathmen, ruft aber je nach den Individuen entweder eine rauschähnliche Heiterkeit oder sehr bedeutende Aufregung hervor, die man bis zu Raserei sich steigern sah; es wurde früher L u s t g a s genannt; bei längerem Einathmen wirkt es tödtlich. Wasser absorbirt 36 Volumprocente desselben. Durch einen Druck von 30 Atmosphären läßt es sich bei 0^0 zu einer farblosen beweglichen Flüssigkeit verdichten, welche, an die Luft gebracht, rasch verdampft und dabei so reichlich Wärme bindet, daß ein Theil derselben zu einer weißen schneeartigen Masse erstarrt.

Wir haben oben die Kohlensäure als einen Normalbestandtheil der Luft bezeichnet. Bevor wir eine nähere Beschreibung dieser äußerst wichtigen Ver-

bindung geben, erscheint es nothwendig, das darin mit Sauerstoff verbundene Radikal zu schildern. Dieses ist

Der Kohlenstoff.

Wenn wir den Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff als Elemente bezeichnet haben, welche für das organische Leben von der größten Bedeutung sind, so gilt dies vom Kohlenstoff in noch höherem Grade, denn derselbe ist für alle organischen Verbindungen ganz unentbehrlich, da sie sämmtlich, seien sie auf natürlichem oder künstlichem Wege entstanden, Kohlenstoff enthalten, während viele frei von Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff sind, jedoch immer wenigstens noch eines der genannten Elemente enthalten. Im unverbundenen Zustande findet sich der Kohlenstoff natürlich als Graphit und Diamant. Letzterer, als der kostbarste und schönste Schmuckstein bekannt, ist der härteste Körper, der bis jetzt aufgefunden wurde. Sein specifisches Gewicht beträgt 3,5. Der rohe Diamant erscheint rauh und wenig durchsichtig. Im geschliffenen Zustande zeichnet er sich durch seinen Glanz und hohes Lichtbrechungsvermögen aus. Man benützt, seiner Härte wegen, Splitter desselben zum Glasschneiden; er leitet die Electricität nicht. Wie groß ist der Unterschied, welchen wir zwischen diesem Körper und dem Graphit wahrnehmen. Letzterer, in Krystallen des drei- und einaxigen Systems auftretend, ist dunkel-stahlgrau, völlig undurchsichtig, weich, abfärbend, leitet die Electricität und kann auch künstlich hervorgebracht werden (s. unten beim Hohofenproceß). Man benützt ihn zur Anfertigung der Bleistifte und feuerfesten Schmelztiegel. Trotz dieser durchgreifenden Verschiedenheit sind beide Körper chemisch identisch, nämlich Kohlenstoff. Wird der Diamant bei Abschluß der Luft sehr stark erhitzt, so bläht er sich auf, wird weich, abfärbend, grauschwarz und zeigt dann die größte Aehnlichkeit mit Graphit. Es ist klar, daß wir es hier mit zwei allotropischen Modificationen des Kohlenstoffs zu thun haben, wie wir solche bereits beim Sauerstoff kennen lernten. Als eine dritte Modification des Kohlenstoffs können wir noch die feinzertheilte Kohle bezeichnen, die man durch heftiges Glühen von Kienruß erhält, wobei fremde, der Kohle anhängende, Substanzen sich verflüchtigen und nahezu reiner Kohlenstoff als ein weiches, abfärbendes, dunkelschwarzes Pulver zurückbleibt, dessen spec. Gewicht beiläufig 1,7 beträgt, während das des Graphits 2,2 ausmacht.

Diamant, Graphit und Kohle.

Die weitaus größere Menge des Kohlenstoffs finden wir in der Natur in Gestalt von Verbindungen, unter welchen, abgesehen von den organischen Substanzen, die Kohlensäure überwiegend ist. Die massenhaft auftretenden Mineralkohlen sind Zersetzungsproducte organischer Gebilde und haben auch in ihrem gegenwärtigen Zustande noch größtentheils den Character organischer Stoffe beibehalten.

Alle Modificationen des Kohlenstoffs sind nicht flüchtig und unschmelzbar. Nur bei einer außerordentlichen Hitze, welche man durch Anwendung eines electrischen Stromes hervorbrachte, zu dessen Erregung 500 Bunsen'sche Elemente dienten, will man bei Zuckerkohle, die aber nicht reiner Kohlenstoff ist, ein Weichwerden und sogar eine Verflüchtigung des Kohlenstoffs beobachtet haben. Die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff ist bei gewöhnlicher Temperatur sehr gering, bei großer Hitze aber höchst bedeutend. Diamant, Graphit und Kohle verbrennen an der Luft und im Sauerstoff, wenn diese im Ueberschuß vorhanden sind, zu Kohlensäure, CO_2, der

Kohlensäure.

höchsten Oxydationsstufe des Kohlenstoffs. Diese findet sich in der Luft, im Wasser gelöst, an Basen gebunden in mehreren wichtigen Mineralien, und strömt an manchen Orten reichlich aus Erdspalten gasförmig hervor (Hundsgrotte). Man kann sie leicht künstlich aus kohlensauren Salzen durch stärkere Säuren, wie Schwefel- oder Salzsäure, abscheiden, welche sie verdrängen. Am bequemsten dient kohlensaurer Kalk (Kreide, Marmor), den man in gröberen Stücken in der Gasentwickelungsflasche (S. 473) mit mäßig verdünnter Salzsäure übergießt. Die Kohlensäure entweicht als ein farbloses Gas von 1,529 spec. Gew., sie hat einen säuerlichen prickelnden Geruch und Geschmack, wird vom Wasser unter gewöhnlichem Luftdrucke annähernd zu gleichen Raumtheilen absorbirt, und läßt sich bei einem Drucke von 36 Atmosphären und 0^0 zu einer beweglichen farblosen Flüssigkeit verdichten und auch beim Verdampfen derselben durch Bindung der latenten Wärme als eine schneeartige Masse erhalten. Die Kohlensäure unterhält die Verbrennung nicht und ist irrespirabel, ohne aber, wenn sie in geringer Menge der Luft beigemischt ist, direkt zu schaden. Sie gehört unter die schwächsten bekannten Säuren, röthet das blaue Lackmuspigment nur vorübergehend, ersetzt aber durch ihre Verbreitung und stetige Wirkung sehr häufig andere kräftige Agentien, so daß ihr bei den auf der Erdoberfläche beobachteten Umwandlungen eine sehr große Rolle zufällt. Sie gehört überhaupt zu den wichtigsten Verbindungen, welche wir kennen, indem sie allen organischen Körpern den Kohlenstoff liefert, wie wir unten noch näher besprechen wollen. Mit den meisten Basen liefert sie Salze, deren überwiegende Mehrzahl im Wasser unlöslich ist. Gleich dem Wasser kann sie auf höchst mannigfaltige Weise entstehen, doch zerlegt sie sich lange nicht so leicht wie dieses.

Kohlenoxyd. Bringt man Sauerstoff mit einem Ueberschusse von glühendem Kohlenstoff in Berührung, so entsteht nicht Kohlensäure, sondern Kohlenoxyd, CO, ein permanentes Gas, welches ebenfalls in sehr verschiedener Weise hervorgebracht werden kann, welches wohl bei den natürlichen chemischen Processen keine wichtige Rolle spielt, dagegen bei technisch-chemischen Vorgängen, die von der Vermittelung der Brennstoffe abhängen, sehr häufig in entscheidender Weise eingreift. Leitet man Kohlensäure über lebhaft glühende Kohle, so nimmt sie noch Kohlenstoff auf und geht in Kohlenoxydgas über.

Das Gas hat ein specifisches Gewicht von 0,967, ist farb- und geruchlos und wirkt giftig. Die durch sogenannten Kohlendampf hervorgerufenen Todesfälle sind Folge des in den verschlossenen Räumen, bei unvollständiger Verbrennung der Kohle, sich in namhafter Menge bildenden Kohlenoxyds. An der Luft verbrennt es mit schönblauer Flamme zu Kohlensäure. Vielen Metalloxyden entzieht es in stärkerer Hitze den Sauerstoff und wirkt daher reducirend, gleich der glühenden Kohle, auf dieselben, was bei vielen metallurgischen Processen von sehr großer Bedeutung ist.

Kohlenwasserstoffe. Kohlenwasserstoffe nennt man Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff. Unmittelbar lassen sich diese beiden Elemente nicht vereinigen; im Entstehungsmomente gehen sie aber leicht Verbindungen ein. So erhält man, wenn kohlenstoffhaltiges Eisen, behufs der Darstellung von Wasserstoff, mit verdünnter Schwefelsäure behandelt wird, ein Product, welches ziemlich reichlich flüchtige Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff enthält, deren Beschaffenheit und Zusammensetzung aber bis jetzt nicht hinreichend genau ausgemittelt ist. Dagegen kennt man eine verhältnißmäßig sehr große Anzahl von Kohlenwasserstoffen, welche sich bei fortschreitender Wissenschaft immer

noch vermehrt, die ihren Ursprung der künstlichen Zerlegung organischer Stoffe verdanken oder in sehr vielen Fällen sich bei den chemischen Lebensprocessen der Thiere und Pflanzen ursprünglich bilden. Die Umstände, unter welchen sie entstehen, sind sehr mannigfaltig, besonders reichlich bilden sich die Kohlenwasserstoffe bei der trockenen Destillation complexer zusammengesetzter organischer Substanzen, wie Holz, Steinkohlen, Fette und dergl. Unter trockener Destillation verstehen wir das Erhitzen eines nicht flüchtigen organischen Körpers bei Abschluß der Luft, so daß nur die Wärme auf die Substanzen zu wirken vermag. Bei den höher zusammengesetzten organischen Stoffen tritt hier eine durchgreifende Umwandlung ein, indem durch die Wärme die Affinitätsverhältnisse wesentlich abgeändert und somit die Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und etwa Stickstoffatome, welche sich zu einer höher zusammengesetzten Gruppe vereinigt hatten, veränderten Anziehungen folgend, eine große Anzahl neuer Verbindungen bilden, und zwar solcher, welche bei der gegebenen Temperatur flüchtig sind und dampfförmig entweichen. Wir müssen gestehen, daß uns bis jetzt keineswegs die Gesammtheit der bei der trockenen Destillation auftretenden Producte genau bekannt ist, und der Leser wird dieß erklärlich finden, wenn wir hervorheben, wie durch die Hitze ein wahres Gewirre von neuen Stoffen hervorgebracht wird, von denen viele durch ihre Aehnlichkeit oder den Mangel an characteristischen Eigenschaften ein zuweilen unübersteigliches Hinderniß darbieten, sie von den anderen Substanzen zu trennen und in ihrem reinen Zustande zu prüfen. Doch ist die Zahl der hierher gehörigen, genau gekannten Stoffe schon sehr groß und wir können uns daraus auch ein annähernd richtiges Bild schaffen über die Rolle, welche jeder einzelne Elementarbestandtheil der organischen Substanzen dabei übernimmt. Hier ist hauptsächlich von Holz und anderen schon erwähnten Körpern die Rede, welche als Brenn- oder Leuchtstoffe die vielseitigste Anwendung finden und uns deshalb auch vorzüglich interessiren. Bringen wir einen solchen Körper im trockenen Zustande in eine Retorte, die mit einer gekühlten Vorlage versehen ist, aus welcher ein Gasleitungsrohr die gasförmigen Producte unter die Glocke einer pneumatischen Wanne führt, und erhitzen wir das Destillationsgefäß allmälig bis zum Glühen, so sehen wir gleichzeitig Dämpfe aus der Retorte entweichen, die sich in der Vorlage condensiren, während namentlich in der ersten Periode der Operation sich reichlich Gase entwickeln. Nach einiger Zeit wird auch die Bildung der flüchtigen Producte immer schwächer und hört endlich gänzlich auf, wornach der Vorgang beendigt ist. Die Gase nun, welche wir in der Glocke aufgesammelt haben, sind Kohlensäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe, unter diesen Grubengas und ölbildendes Gas, Stickstoff, Wasserstoff und etwas Ammoniak. Wir sehen daraus, daß sich ein Theil des Kohlenstoffs zu den einfachsten Sauerstoffverbindungen, die er zu liefern vermag, vereinigt, während ein anderer Antheil mit Wasserstoff binäre Verbindungen bildet, daß ferner eine gewisse Menge des Stickstoffs, im Momente der Abscheidung, sich mit Wasserstoff zu Ammoniak verbunden, während diese Elemente auch im ungebundenen Zustande abgeschieden wurden. Wir werden weiter unten eine nähere Beschreibung des Gruben- und ölbildenden Gases geben und wenden uns zu den in der Vorlage angesammelten Producten. Hier beobachtet man zwei Flüssigkeiten, ein bräunlich gefärbtes, übelriechendes, gewöhnlich sauer, bei stickstoffreichern Körpern aber basisch reagirendes Wasser, auf welchem eine halbflüssige, sehr intensiv riechende, dunkelbraune Masse, der Theer schwimmt.

Trockene Destillation.

Destillationsgase.

Theer.

Theerwasser. In dem Theerwasser findet sich häufig Essigsäure, daneben aber noch eine große Anzahl anderer Substanzen, worunter auch stets Ammoniakverbindungen. Wir können an dieser Stelle eine nähere Beschreibung derselben noch nicht geben, dieß gilt auch von den Bestandtheilen des Theers, welche ungemein zahlreich sind; doch mag die Bemerkung hier Platz finden, daß im Theer reichlich Kohlenwasserstoffe von verschiedener Zusammensetzung, auch viele Verbindungen, welche Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff enthalten, auftreten. Zur Bildung aller dieser Stoffe dienten die ursprünglich viel einfacher angeordneten Atome der Elementarbestandtheile des destillirten Körpers. Das Auftreten einer merklichen Quantität Wasser zeigt uns, wie ein großer Antheil des Sauerstoffs zur Bildung desselben verwendet werden mußte, und wenn wir uns erinnern, daß sich auch reichlich Kohlensäure und Kohlenoxyd entwickeln, so wird uns die Entstehung von erheblichen Quantitäten der verschiedenen Kohlenwasserstoffe nicht befremden. Sehen wir nach, ob bei der trockenen Destillation die Gesammtmenge der destillirten Körper sich verflüchtigt habe, so bemerken wir, daß dies nie der Fall ist. Stets findet man im Rückstande einen bedeutenden Antheil des Kohlenstoffes, Kohle. in Gestalt von Kohle, deren Beschaffenheit durch die Natur des destillirten Körpers und durch den dabei angewendeten Hitzegrad namhaft modificirt werden kann. Es bleibt somit immer ein merklicher Antheil Kohlenstoff zurück, welcher sich der Einwirkung der übrigen Destillationsproducte entzogen und an der Bildung derselben keinen Antheil genommen.

Vorgänge bei Anwendung von Brennstoffen. Ganz ähnliche Vorgänge lassen sich auch beobachten, wenn organische Substanzen in größeren Massen einer wenigstens Anfangs unvollkommenen Verbrennung zugeführt werden, wie dieß z. B. bei der Anwendung unverkohlter Brennmaterialien für unsere gewöhnlichen Feuerungen stattfindet. Denken wir uns auf einem Roste, welcher bekanntlich als Unterlage für den Brennstoff dienen und gleichzeitig den Luftzutritt zu demselben gestatten soll, eine gewisse Menge Holz aufgelegt, welches wir eben angezündet haben, so wird allerdings zunächst ein kleiner Theil desselben eine vollständige Verbrennung erleiden, deren Producte Wasser, Kohlensäure und unverbundener Stickstoff sind. Die darüber gelagerten Holztheile müssen dadurch natürlich erwärmt werden, doch kann dies nur allmälig geschehen, und bevor die Temperatur so weit gesteigert ist, daß alle sich entwickelnden Substanzen der Verbrennung anheimfallen können, haben sich gerade wie in der Retorte Destillationsgase, Dämpfe von Theer und Theerwasser gebildet, welche entweichen, sich in einiger Entfernung von dem Feuerraume theilweise condensiren und so die bekannte Erscheinung des Rauches hervorbringen. Endlich hat durch den nachdringenden Sauerstoff die Verbrennung in den unteren Schichten sich so gesteigert, daß die Destillationsgase und Dämpfe heiß genug entweichen, um sich ihrerseits entzünden zu können, und von diesem Augenblicke an bemerken wir die Flamme, welche so lange andauert, als überhaupt noch Destillation stattfindet, bis endlich blos die Kohle zurückbleibt, die ihrerseits ohne Flamme verbrennt. Es ist klar, daß sich dieser Vorgang bei jedem neuerlichen Auflegen von frischem Brennstoff wiederholen muß, und längere oder kürzere Zeit andauert, bis endlich die Verkohlung wieder vollkommen eingetreten ist. Haben wir uns aber in irgend einer Weise früher bereits aus dem Brennstoff die Kohle hergestellt, so können wir bei Verbrennung derselben eine viel höhere Temperatur erzielen, als bei der Anwendung von unverkohltem Material, wenn wir die Wirksamkeit seiner Flamme,

wie das bei vielen Feuerungen der Fall ist, nicht höher anschlagen, als die ohne selbe erzielte stärkere Hitze. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt in dem Umstande, daß bei der Destillation sich flüchtige Producte bilden, welche, um sich in Dampf- oder Gasgestalt zu erhalten, eine namhafte Menge der durch die Verbrennung frei gewordenen Wärme wieder latent machen, und somit also, da bei Benutzung der Brennstoffe es sich darum handelt, irgend einen Körper, wie zu schmelzende oder zu verflüchtigende Substanzen, die Wand eines Ofens und dergl., entsprechend zu erhitzen, diesen ein namhaftes Wärmequantum entzogen wird.

Nachdem wir nun im Vorhergehenden ein allgemeines Bild der bei der Verbrennung organischer Stoffe stattfindenden Vorgänge gegeben, wenden wir uns zur Beschreibung der beiden oben erwähnten Kohlenwasserstoffe zurück, von denen wir bereits wissen, daß sie bei der trockenen Destillation auftreten.

Das Grubengas findet sich nicht selten in Steinkohlenbauen. Es scheint dort durch den, die Bildung der Steinkohlen bedingenden, Verwesungs- und Fäulnißproceß entstanden und bei dem mächtigen Druck, der auf der Kohle lastet, in Höhlungen comprimirt, nach zufälligem Oeffnen derselben reichlich in die Gruben auszuströmen. Da es mit Luft gemengt heftig explodirt und eben in diesem Zustande in den Gruben oft genug angetroffen wird, so veranlaßt es nicht selten, falls man, statt mit Sicherheitslampen, mit offenen Grubenlichtern den Bau betritt, die so beklagenswerthen Unglücksfälle, von denen wir von Zeit zu Zeit, namentlich aus den englischen und belgischen Steinkohlengruben, Nachricht erhalten. Man beobachtet es auch häufig im Gemenge mit Stickstoff und Kohlensäure, vom Boden stehender Wässer aufsteigend, wo sich faulende organische Stoffe, Pflanzen und dergl. finden, deren Zersetzung eben zu seiner Bildung Veranlassung giebt, weshalb es auch den Namen Sumpfluft erhalten hat. Künstlich läßt sich das Gas, dessen Formel C_2H_4 ist, durch Erwärmen von Bariumoxydhydrat mit essigsaurem Natron erhalten. Der Kohlenstoff der Essigsäure wird dabei zur Hälfte zur Bildung von Kohlensäure verwendet, wozu gleichzeitig der Sauerstoff der Essigsäure und des Hydratwassers dient. Der Wasserstoff beider vereinigt sich mit der zweiten Hälfte des Kohlenstoffes zu Grubengas. Das Gas ist farblos, verbrennt mit blaßblauer Farbe, explodirt mit Sauerstoff gemengt und angezündet, hat keinen Geruch und ein specifisches Gewicht von 0,559. Grubengas.

Das ölbildende Gas hat diesen Namen erhalten, weil es sich mit Chlor unmittelbar zu einer ölartigen Flüssigkeit vereinigt. Am reinsten erhält man es beim Erwärmen von einem Theil Weingeist mit vier Theilen concentrirter Schwefelsäure. Der Weingeist zerfällt dabei in zwei Atome Wasser und in ein Atom ölbildendes Gas: C_4H_4. Da sich dabei auch etwas von sauren Producten bildet, muß man das Gas zu seiner völligen Reinigung mit Kalk oder Kali in Berührung bringen. Es ist dann farblos, coërcibel, von unangenehmem Geruch, einem specifischen Gewicht von 0,909, giftig und verbrennt im Gegensatze zum Grubengas mit hellleuchtender Flamme. Leitet man es durch ein starkglühendes Rohr, so zersetzt es sich in freien Kohlenstoff und Grubengas. Diese Erscheinung erklärt uns auch die hohe Leuchtkraft des ölbildenden Gases, welches einen Hauptbestandtheil des in den Gasanstalten erzeugten Leuchtgases ausmacht. Läßt man nämlich das Gas aus einer Mündung ausströmen und zündet es hierauf an, so ist bei der Verbrennung desselben eine Reihe von Umwandlungen zu beobachten; weil in der, durch das beständig nachströmende Gas gebildeten Flamme, in welche Oelbildendes Gas. Leuchtgas.

fortwährend von außen der Sauerstoff eindringt, an verschiedenen Stellen auch eine verschiedene Temperatur herrscht. Dort, wo das Gas in den Flammenkegel tritt, hat es noch nicht die zur Verbrennung nöthige Temperatur, auch gelangt der Sauerstoff nicht bis dahin. Das Gas, von dem Nachströmenden nach Außen gedrängt, gelangt in die Nähe der äußeren Hülle der Flamme, wo der Sauerstoff ungehindert Zutritt findet und durch die Verbrennung eine sehr starke Hitze erzeugt. Diese veranlaßt aber die oben erwähnte Zerlegung in Kohlenstoff und Grubengas. Der Kohlenstoff bildet sehr feine, in der Flamme schwebende Theilchen, die durch die Verbrennungstemperatur in die lebhafteste Weißgluth gerathen und deßhalb glänzend leuchten. Von dem nachrückenden Gase in die äußere Hülle getrieben, verbrennen die Kohlenstofftheilchen mit dem Grubengase mit geringem Lichte, liefern aber dabei die nöthige Hitze, um die neuerdings abgeschiedenen Kohlenstofftheilchen des nachrückenden Gases zum Weißglühen zu bringen.

Unter den Producten der trockenen Destillation finden sich noch mehrere andere Kohlenwasserstoffe, welche, obgleich condensirbar und dann flüssig, dennoch als Dampf sich den Destillationsgasen beimengen, und bei ihrer Verbrennung aus denselben Gründen, wie das ölbildende Gas, d. h. wegen vorhergehender Abscheidung von Kohlenstoff, ebenfalls lebhaft leuchten.

Gasbeleuchtung.

Auf dem Vorhandensein des ölbildenden Gases und anderer, demselben ähnlich wirkender, Kohlenwasserstoffe in den Producten der trockenen Destillation organischer Substanzen beruht die Anwendung des Leuchtgases, welches bekanntlich in eigenen Fabriken dargestellt und aus großen Behältern, den Gasometern, worin man es sammelt und vorräthig hält, unter einem bestimmten Druck durch gußeiserne Röhren bis zu den, mit den Brennern versehenen und durch Hähne beliebig schließbaren Ausströmungsöffnungen geleitet wird. Man kann das Leuchtgas aus verschiedenen organischen Materialien darstellen und bedient sich dabei selbstverständlich nur solcher, die leicht und billig beschafft werden können. Fette und Harze, als besonders kohlenstoffreiche organische Substanzen, liefern ein vorzügliches Leuchtgas, werden aber nur an wenigen Orten verwendet, wo besondere Umstände sie leicht zugänglich machen. Der sogenannte bituminöse Schiefer, ein von Erdöl und anderen organischen Substanzen durchdrungener Thonschiefer, kann nur dort benutzt werden, wo er sich in der Nähe und reichlich vorfindet. In den überwiegend meisten Fällen dient Steinkohle als Material zur Leuchtgasbereitung, welche neben Theer und Theerwasser, die beide weiter verwerthet werden können, als Rückstand der Destillation, Kohks liefert, die ein werthvolles Nebenproduct vorstellen.

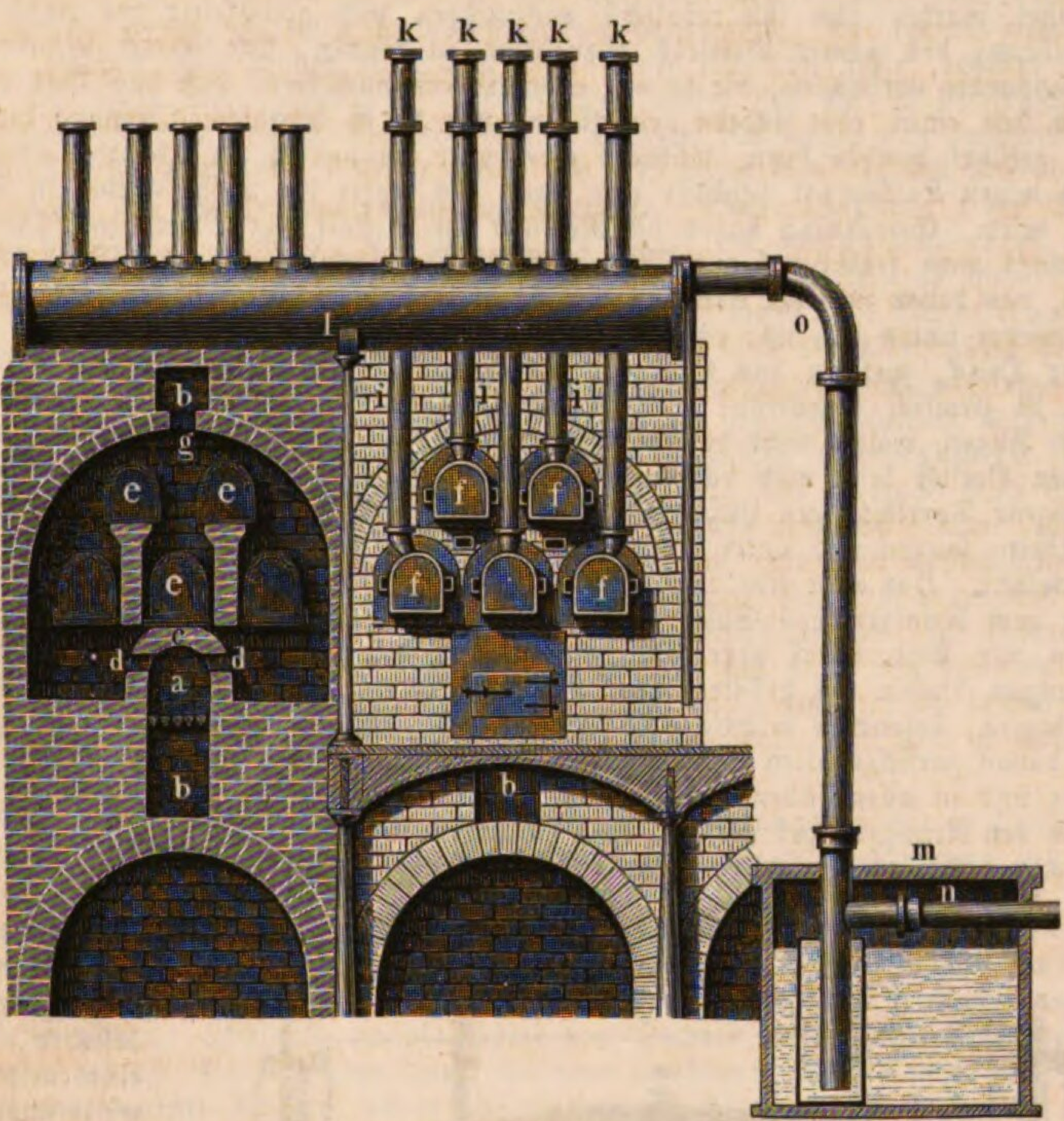
Thermolampe. Die ersten Versuche, Leuchtgas zu erzeugen und zu benutzen, fallen in das Ende des vorigen Jahrhunderts, wo in Frankreich unter dem Namen Thermolampe ein Apparat erfunden wurde, in welchem man aus Holz Gas erzeugte, um dieses theils zum Beleuchten, theils als Heizmaterial zu verwenden. Die geringe Leuchtkraft des in dieser Vorrichtung erzeugten Gases verhinderte eine ausgedehntere Anwendung der Thermolampe, die bald in Vergessenheit gerieth, während das Princip derselben, auf Steinkohlen u. s. w. angewendet, später in Aufnahme kam und erst vor wenigen Jahren neue in Deutschland angestellte Versuche, aus Holz ein wirksames Leuchtgas zu erzeugen, von dem schönsten Erfolge gekrönt waren. Bei der Erzeugung von Holzgas gewinnt man als Nebenproducte Holzessig, Holztheer und Holzkohlen, welche sich sämmtlich besser verwerthen lassen, als die aus Steinkohlen gewonnenen Nebenproducte.

Die zwei wichtigsten Fabrikationsmethoden des Leuchtgases bedienen sich demnach entweder des Holzes oder der Steinkohle. Bei der Verarbeitung dieses Materials müssen die Retorten selbstverständlich die Einrichtung besitzen, daß die Gase ungehindert entweichen können, um sich in den Behältern anzusammeln, während sich Theer und Theerwasser condensiren. Ferner muß die Einrichtung getroffen sein, die einzelnen Retorten beschicken und entleeren zu können, ohne daß der Betrieb der Uebrigen eine Störung oder Unterbrechung erleidet. Dann ist es nothwendig, das Gas vor seiner Verwendung von jenen Bestandtheilen zu befreien, welche beim Gebrauche störend oder

hinderlich sind. In dieser Beziehung ist besonders auf die Kohlensäure und gasförmige Schwefelverbindungen Rücksicht zu nehmen; die erstere schwächt die Leuchtkraft des Gases ungemein, während die Schwefelverbindungen insbesondere Schwefelwasserstoff beim Verbrennen des Gases schweflige Säure erzeugen, welche nicht nur lästig und gesundheitsschädlich, sondern auf vielerlei gefärbte Stoffe bleichend wirkt und namentlich in Seidenwaaren-Magazinen aus letzterem Grunde Schaden verursachen kann.

Der ganze Vorgang bei der Gasbereitung zerfällt demnach in die eigentliche Destillation, die Condensation des Theers und Theerwassers und die Reinigung des Gases. Die Einrichtung der Retorten und zugehörigen Oefen macht nebenstehende Abbildung (Fig. 278) ersichtlich. Die Retorten, meist aus Eisen, seltener aus gebranntem Thon

(Fig. 278.)



angefertigt, sind D förmig gestaltet wie der Durchschnitt e zeigt; sie werden meist zu fünf in einen Ofen eingesetzt, dessen Feuerung a mit dem Aschenfalle b, durch das durchbrochene Gewölbe c passend vertheilt, die heiße Flamme aus den Oeffnungen d in den Ofen treten läßt. Die heißen Verbrennungsgase umspielen die Retorten, gelangen durch den Fuchs g in den Kanal b und von da in die Esse. Die Retorten ragen vorn etwas aus dem Ofen heraus und sind dort mit einem Ansatze f versehen. Dieser hat eine Thüre zum Eintragen und Entleeren und nimmt in seinem oberen Gewölbe die Röhre i auf, welche die Destillationsproducte weiter leitet. Die Röhren i steigen hinter der großen horizontal gestellten Röhre I auf, und sind durch sattelförmige Ansatzstücke k mit kürzeren Röhren in Verbindung gesetzt, die bis nahe zum Boden der Röhre I hinabreichen. Diese wird bis zu ihrer halben Höhe mit Theer gefüllt, so daß sämmtliche Röhren unter Theer ausmünden. Dadurch ist die Communication der Retorten untereinander vollständig aufgehoben und Gase wie Dämpfe sind genöthigt, erst durch den Theer durchzustreichen, bevor sie in das knieförmig gebogene Rohr o gelangen, in welchem sie nach abwärts steigen. Hier beginnt schon die Condensation und das Gefäß m nimmt Theer und Theerwasser auf. Das zeitweilige Entleeren von m läßt sich ohne Störung bewerkstelligen, da die Röhre o noch in einem besonderen kleinen Gefäße eingesenkt ist, wodurch also ein Verschluß bewerkstelligt wird,

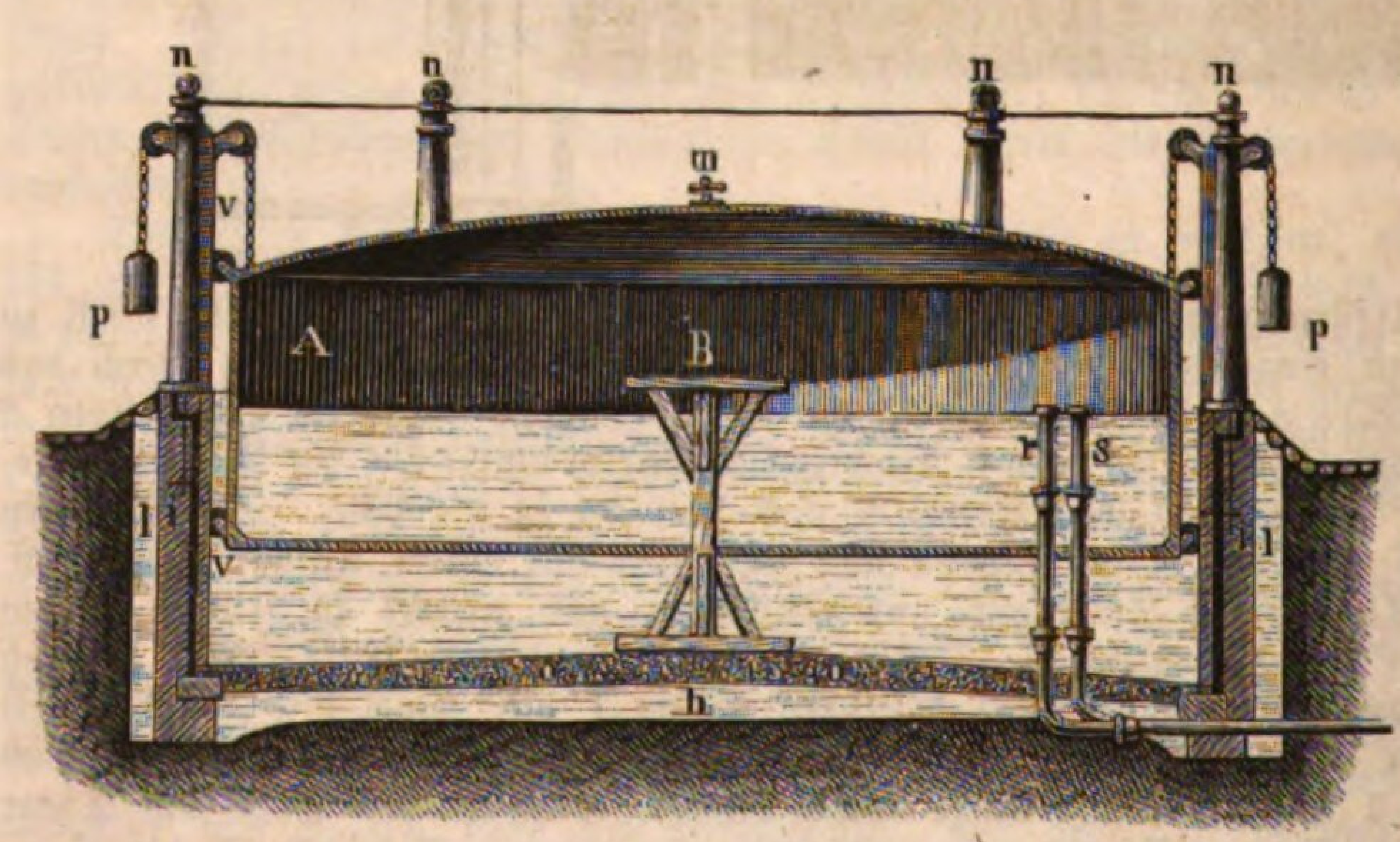
selbst wenn man den übrigen Theil des Theers und Theerwassers von Zeit zu Zeit vollkommen abläßt. Die Gase aber entweichen durch das Zweigrohr n. Sie sind noch immer reichlich mit Theerdämpfen beladen; man führt sie deshalb aus n in ein System von mehreren, theils schwach geneigten, theils senkrecht aufgestellten eisernen Röhren, die häufig mit Wasser gekühlt werden. Die condensirten Flüssigkeiten läßt man in große Cisternen fließen, wo sich der Theer vom Theerwasser trennt, das Gas aber gelangt nun in die Reinigungsapparate.

Gas-reiniger. Das gewöhnlichste Mittel der Reinigung ist pulverförmiger mit Wasser gelöschter Kalk (Kalkhydrat s. unten). Dieser bindet als eine kräftige Basis die Kohlensäure, sowie den Schwefelwasserstoff, zersetzt auch den größten Theil der übrigen Schwefelverbindungen und hält deren Schwefel zurück, muß aber öfters erneuert werden, da seine Wirksamkeit lange früher aufhört, als bis er vollständig in andere Verbindungen übergeführt wurde. Um ihn möglichst auszunützen und gleichzeitig das Auswechseln ohne Störung des ganzen Betriebs vornehmen zu können, sind immer mehrere Reinigungsapparate vorhanden, die so mit einander communiciren, daß das Gas beliebig zuerst in den einen oder andern geleitet und von da in beliebiger Ordnung durch die übrigen geführt werden kann, während einer oder der andere der Apparate abgesperrt ist, mit neuen Kalkhydrat beschickt und dann als letzter der Reihe wieder in Betrieb gebracht wird. Gewöhnlich haben die Reiniger die Gestalt von viereckigen Kästen; den Kalk bringt man feucht auf mit Weidengeflecht überspannten und mit Moos bedeckten Rahmen, von denen mehrere übereinander eingesetzt sind, zur Anwendung, und läßt das Gas entweder unten ein- und oben austreten oder umgekehrt.

Der Druck, welchen das Gas auf die Wände der Retorten und Leitungsröhren ausübt, ist ziemlich bedeutend, so daß eine merkliche Menge des Gases (10—15%) durch die Fugen, welche nicht vollständig vermieden werden können, entweicht. Diesem namhaften Verlust kann man vorbeugen, indem man zwischen die Gasreiniger und Retorten eigene Vorrichtungen einschaltet, die, durch Dampfkraft bewegt, das Gas aus den Retorten saugen und unter einem entsprechenden Druck in den Reiniger und Gasometer treiben. Hat man eine solche Vorrichtung im Gebrauche, so können auch Flüssigkeiten zum Reinigen des Gases dienen. Als solche erweisen sich besonders wirksam Lösungen von Eisenvitriol oder Chlormangan. Die darin enthaltenen Metalle Eisen und Mangan binden den größten Theil des Schwefels, dessen Beseitigung, nach dem oben gesagten, besonders wichtig erscheint, während auch sämmtliche Ammoniumverbindungen davon zurückgehalten werden. Die Kohlensäure aber erleidet dabei keine Veränderung und in allen Fällen muß das Gas noch durch mit Kalk beschickte Reiniger gehen.

Gasometer. Aus den Reinigern gelangt das Gas endlich in das Gasometer. Die gewöhnlichste Einrichtung desselben macht Fig. 279 ersichtlich. Eine große aus Eisenblech angefertigte Glocke A ist mittelst Ketten, an deren Enden sich Gegengewichte p befinden, so in eine entsprechend weite ausgemauerte Cisterne eingehängt, daß sie, mittelst der zur Regelung der Bewegung angebrachten Rollen v, an den eisernen Säulen n sich auf- und abbewegen kann. Die Sohle der runden Cisterne o ist aus Thon fest-

(Fig. 279.)



gestampft und über derselben ein Gerüst B aufgestellt, welches das völlige Einsinken der Glocke verhindert. In der Decke derselben ist eine verschließbare kurze Röhre m angebracht, um das Gasometer nöthigen Falls auf diesem Wege auszuleeren, oder Proben von Gas herauszunehmen zu können. Das Bassin wird durch die Mauer i gebildet; um dasselbe ist ein concentrischer Raum l ausgespart, der mit Wasser gefüllt ist, welches auch durch einen Kanal h communicirt. Von den gebogenen eisernen Röhren r

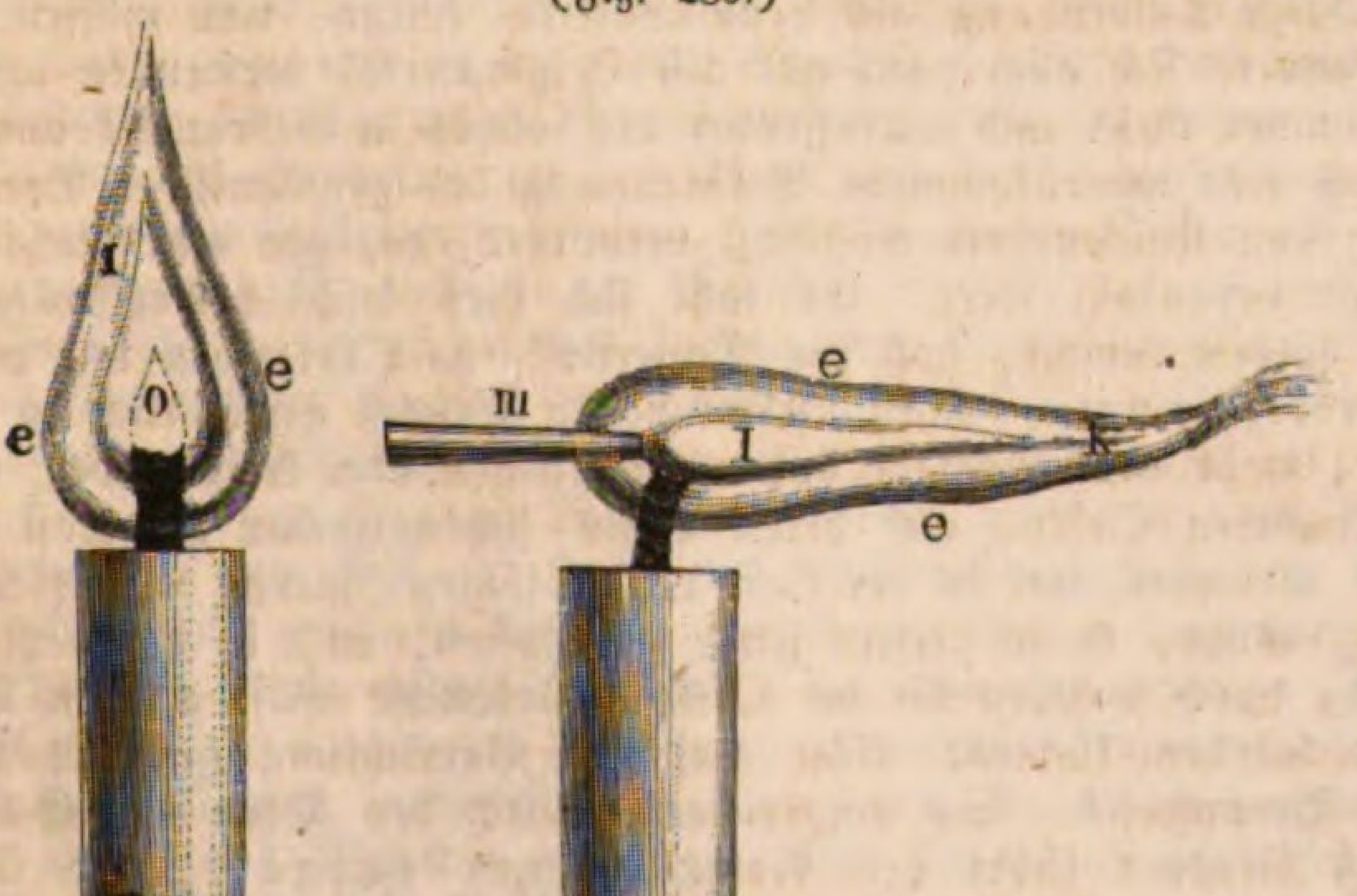
und s, die über das im Bassin befindliche Theerwasser herausragen, dient die eine zum Zuleiten des Gases aus den Retorten, die andere zum Weiterleiten zu den Brennern. Wenn nun die Gegengewichte b so eingerichtet sind, daß sie dem Gasbehälter A nicht vollständig das Gleichgewicht halten, oder wenn man das Gasometer noch besonders mit Gewichten belastet, so ist das Gas genöthigt, unter einem dieser Belastung entsprechenden Druck aus dem Gasometer zu strömen.

Die Steinkohlen bedürfen einer verhältnißmäßig hohen Temperatur, um die trockene Destillation zu erleiden, wobei ein Theil des zunächst entstandenen Theers sich weiter zersetzt und zur Bildung von leuchtenden Kohlenwasserstoffen Veranlassung giebt. Doch darf die Hitze eine gewisse Grenze nicht übersteigen, und gegen Ende der Operation erhält man ein Gasgemenge, welches hauptsächlich aus Grubengas, Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht. Da dieses Gemisch sich aber mit den vorerst entstandenen wirksamen Gasen mengt, so wird es nebenbei doch verwerthet. Bei der Destillation des Holzes, welches weit reicher an Sauerstoff ist, als die Steinkohle, beginnt die Zersetzung bei einer weit niedrigeren Temperatur, wobei sich ein an Kohlensäure und Grubengas besonders reiches Gemenge bildet, während sich wenig von leuchtenden Kohlenwasserstoffen darin findet. Diese bilden sich erst, wenn man die das Gas begleitenden Dämpfe des Theers nachträglich mäßig erhitzt. Dieser Umstand ist den Erfindern der Thermolampe entgangen, weshalb sie aus Holz ein schlecht leuchtendes Gas erhielten. Pettenkofer in München erkannte das richtige Verhältniß und lehrte das Holz zur Gasbeleuchtung zu verwenden, ohne daß eine wesentliche Veränderung in der Einrichtung der Gasfabriken nöthig wäre, indem man bloß verhältnißmäßig große Retorten anzuwenden braucht, um die Bedingungen der Entstehung eines wirksamen Leuchtgases aus Holz zu erfüllen. Diese Retorten bieten den entstehenden Theerdämpfen eine genügend große glühende Wand, und diese veranlaßt nachträglich die theilweise Zersetzung des Theeres in dem erörterten Sinne. Da das Holzgas keine Schwefelverbindungen enthält, so ist es schon aus diesem Grunde in vielen Fällen dem Steinkohlengas vorzuziehen. Im rohen Zustande findet sich sehr viel Kohlensäure darin; auf die Beseitigung derselben muß daher eine besondere Sorgfalt verwendet werden. Die Leuchtkraft des Holzgases übertrifft die des Steinkohlengases; bei Beiden beruht sie weniger auf der Anwesenheit von ölbildendem Gas, als jener von gewissen flüssigen und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (insbesondere Benzin, s. unten), die sammt dem ölbildenden Gas beiläufig 7—10% des Ganzen ausmachen. Der Rest ist Kohlenoxyd, Grubengas, Wasserstoff, etwas Stickstoff und Kohlensäure.

Kerzen und Lampen.

Eine Kerze oder Lampe stellt nur einen Gaserzeugungsapparat in kleinem Maßstabe dar. Der Unterschied in der Zusammensetzung der zur Verbrennung gelangenden Stoffe liegt darin, daß in der Kerzenflamme auch die Theerbestandtheile zur Verwendung kommen. Untersuchen wir, um obigen Vergleich durchzuführen, zunächst die Funktion des Dochtes, so sehen wir, daß dieser die Aufgabe hat, dem schließlichen Verbrennungsproceß durch Aufsaugung des flüssigen Fettes regelmäßig neue Nahrung zuzuführen. Die Fetttheilchen, sobald sie an die Spitze des Dochtes, also in die Achse des Flammenkegels gelangt sind, werden durch die dort herrschende hohe Temperatur genau so zersetzt, wie in einer Retorte, da in das Innere der Flamme kein Sauerstoff der Luft gelangen kann. Die sich bildenden Destillationsgase strömen, von den neu entstehenden verdrängt, nach der Seite und nach aufwärts, und bilden so den inneren, gar nicht leuchtenden Theil o der Kerzenflamme, Fig. 280. Indem sie gegen die äußeren Grenzen derselben vorschreiten, kommen sie dem Verbrennungsheerde näher, und es findet in dem mittleren Theile der Flamme i die erörterte Kohlenstoffabscheidung statt, weshalb dieser lebhaft leuchtet, was in der äußeren Hülle e, wo der reichlich hinzutretende

(Fig. 280.)



Sauerstoff die vollständigste Verbrennung und auch die höchste Temperatur veranlaßt, durchaus nicht stattfindet, indem diese Hülle nur als ein schwachleuchtender Saum bemerkt wird. Man benutzt die Kerzenflamme, abgesehen von ihrer allgemeinen Anwendung als Beleuchtungsmittel, auch in der Chemie, um mittelst des Löthrohrs, auf einem freilich kleinen Punkte, eine sehr hohe Temperatur hervorzurufen und darin das Verhalten verschiedener Körper in starker Hitze zu erproben. Die Einrichtung des Löthrohrs der Chemiker macht Fig. 281 ersichtlich. Das Rohr a, gewöhnlich aus Messing, ist mit einem Mundstücke i versehen, bei welchem man die Luft einbläst. In der Erweiterung des Löthrohrs o sammelt sich die eingehauchte Feuchtigkeit an, während durch das rechtwinklig eingesteckte Rohr m, welches in eine fein gebohrte, gewöhnlich aus Platin verfertigte, Spitze endigt, die Luft durch Pressung austritt. Wird nun, während man das Rohr m horizontal in die Kerzenflamme hält, solchergestalt ein feiner Luftstrom in dieselbe geführt, so erleidet die Beschaffenheit der Flamme dadurch eine wesentliche Veränderung, welche wir in obiger Fig. 280, neben der normalen Kerzenflamme, dargestellt finden. Die einströmende Luft bedingt, daß sogleich die sich entwickelnden Destillationsgase über dem Dochte theilweise zur Verbrennung gelangen, und lenkt natürlich die Stellung des Flammenkegels um einen rechten Winkel ab, so daß dieser horizontal erscheint. Während also in dem inneren Kegel der normalen Flamme keinerlei Verbrennung vor sich geht, findet diese in dem Theile i der Löthrohrflamme, durch Vermittelung der eingeblasenen Luft, lebhaft statt. Die Kohlenstofftheilchen haben keine Zeit sich abzuscheiden und zu glühen, da sie unmittelbar zur Verbrennung gelangen, weshalb auch die Löthrohrflamme wenig leuchtet. Jene Theile der Destillationsgase, die sich dem Verbrennen im Inneren entzogen haben, unterliegen in der äußeren Hülle e der Wirkung des von Außen eindringenden Sauerstoffs, und es ist klar, daß, da hier die Verbrennung gleichzeitig und vollständig erfolgt, die Temperatur dieser Flamme viel höher sein muß, als die einer gewöhnlichen Kerzenflamme. An der Spitze des inneren Kegels i ist der durch das Löthrohr einströmende Sauerstoff schon völlig verzehrt, und dort bringt auch der Sauerstoff von Außen nicht hin, während sich an dieser Stelle noch unverbrannte Kohlenwasserstoffe finden, weshalb sauerstoffhaltige Körper, die überhaupt durch Kohlenstoff und Wasserstoff in der Hitze reducirt werden, diese Veränderung an der inneren Spitze der Löthrohrflamme erleiden. Man kann also, obwohl in kleinem Maßstabe, vielerlei Reductionen in der Löthrohrflamme herbeiführen. Die äußere Spitze ist ebenfalls sehr heiß, dort findet aber schon der Sauerstoff der Luft Zutritt, und man kann deßhalb an dieser Stelle lebhafte Oxydationsprocesse einleiten. Die vor dem Löthrohr zu prüfenden Körper bringt man gewöhnlich auf einer gut ausgeglühten Holzkohle oder an der Spitze eines Platindrahtes in die Flamme.

Das Löthrohr.

(Fig. 281.)



Generator- und Gichtgase.

Wir haben im Obigen gesehen, wie die Destillationsgase wegen ihres Gehaltes an ölbildendem Gas eine wichtige Anwendung als Leuchtmaterial finden, und müssen erwähnen, daß ähnliche Producte sich auch ganz gut als Heizmaterial verwenden lassen und in neuerer Zeit auch immer mehr und umfassender als solches in Gebrauch kommen. Man erzeugt sie dann durch eine unvollkommene Verbrennung der gewöhnlichen Brennstoffe, so, daß die Bildung von Kohlensäure möglichst vermieden, dagegen eine reichliche Entstehung von Kohlenoxyd veranlaßt wird. Es läßt sich dieß leicht bewerkstelligen, wenn man den Luftzutritt soweit hemmt, daß der Sauerstoffgehalt derselben nur ausreicht, um Kohlenoxyd hervorzubringen. Man nimmt diesen Proceß gewöhnlich in sogenannten Schachtöfen vor; mehr oder weniger hohen, viereckigen oder kreisrunden, mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Oefen, auf deren Basis sich entweder ein Rost befindet oder die Düse eines Gebläses, um so der Luft den nöthigen Zutritt zu verschaffen. Die obere Oeffnung, Gicht, ist in diesem Falle geschlossen, und in deren Nähe ein Seitenkanal angebracht, durch welchen die im Ofen entstehenden Gase an den Ort ihrer Bestimmung geleitet werden können. Eine passende Vorrichtung gestattet das theilweise Nachtragen des Brennstoffs. So eingerichtet, wird der Ofen ein Gasgenerator genannt; das Product führt den Namen Generatorgase, und über seine Entstehung geben die obigen Mittheilungen Auskunft. Die Luft, welche unten

zu der glühenden Kohle tritt, bildet sogleich Kohlenoxyd. Der der Luft beigemengte Wasserdampf zerlegt sich bei der unten herrschenden hohen Temperatur mit einem anderen Antheile des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd und Wasserstoff. Diese Gase strömen mit hoher Temperatur, von der nachdringenden Luft weitergetrieben, aufwärts, veranlassen dort, wenn unverkohlte Materialien zur Anwendung kamen, die trockene Destillation derselben, und treten, mit den Destillationsgasen gemengt, aus dem Generator. Man erhält so ein Gemenge, welches etwa 33 Volumprocente Kohlenoxyd und 2—10% Wasserstoff, 1—5% Kohlensäure, endlich 56—65% Stickstoff und zuweilen etwas Grubengas enthält, und, trotz der großen Beimengung des indifferenten Stickstoffs, bei seiner Verbrennung einen bedeutenden Hitzegrad entwickelt.

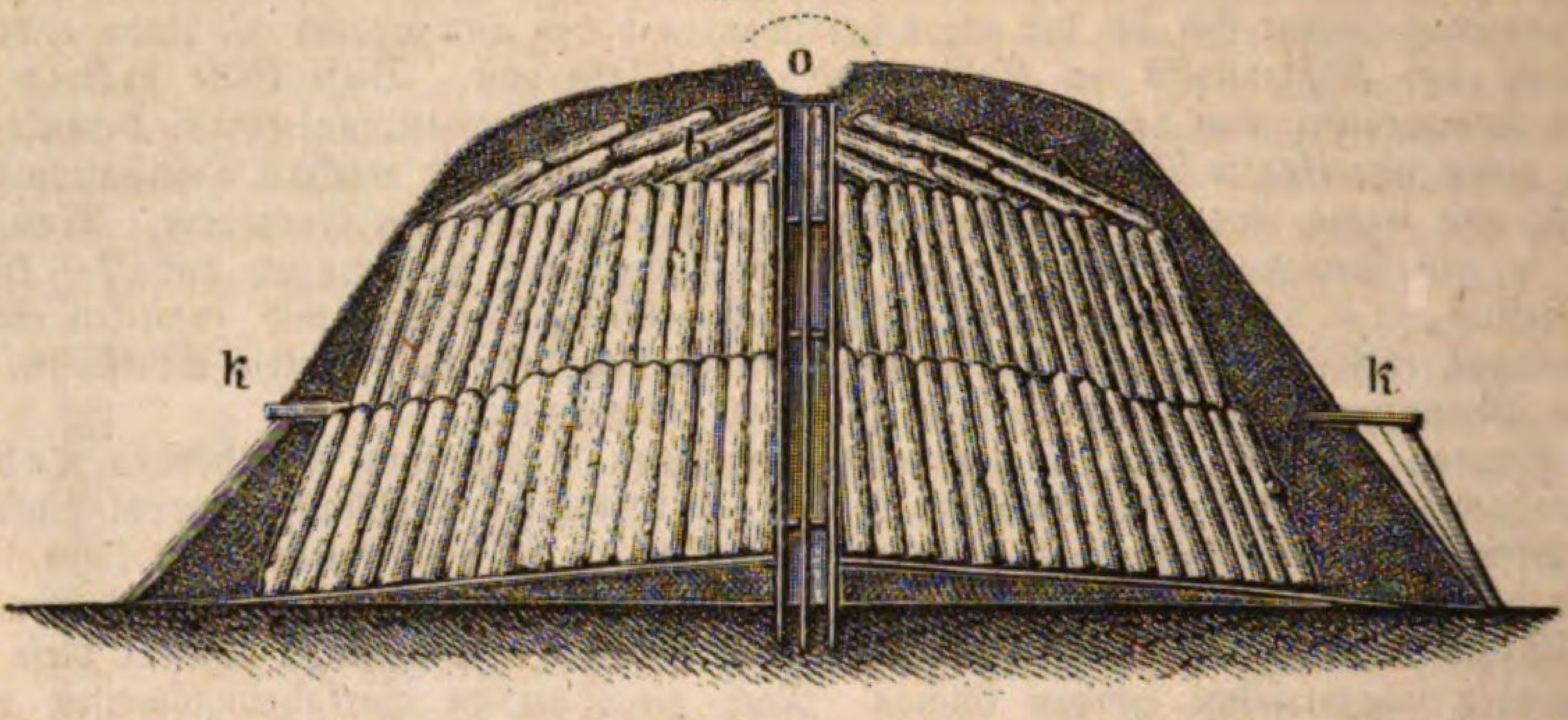
Wenden wir uns nun zu der bei der trockenen Destillation entstehenden Kohle, so beobachten wir, daß selbe nach der Natur der verkohlten Substanz, sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, als äußeren Beschaffenheit, sehr verschieden sein kann. Je höher die Temperatur war, welcher man die Kohle schließlich aussetzte, um so weniger enthält sie von den übrigen Bestandtheilen der verkohlten Substanz, obwohl diese nie vollständig weggetrieben werden können. Nach gewöhnlichen Verfahrungsweisen dargestellte Holzkohle z. B. enthält zuweilen nur 82% Kohlenstoff, dagegen noch über 2% Wasserstoff, 14% Stickstoff mit Sauerstoff und natürlich eine entsprechende Menge von etwa 1½% Asche. Hat man die Holzkohle dagegen in sehr starker Hitze erzeugt, oder vielmehr schließlich einer solchen ausgesetzt, so findet sich der Kohlenstoffgehalt bis auf 96% und darüber gesteigert. Aehnliches gilt auch von den Kohlen aus anderen Materialien. Was das Aussehen der verschiedenen Kohlen anlangt, so hängt dieses vorzugsweise von dem Verhalten während der Verkohlung ab. Holz z. B. liefert bekanntlich eine lockere, poröse, nach der Dichte des Holzes selbst mehr harte oder weiche Kohle, welche das Gefüge des Materials noch deutlich nachahmt, da das Holz beim Erhitzen nicht schmilzt, und somit die endlich frei gewordenen Kohlentheilchen sich noch an ihrer ursprünglichen Stelle finden. Die durch das Entweichen einer namhaften Quantität der Holzsubstanz als Destillationsproducte bedingten zahlreichen Poren in der zurückgebliebenen Kohle machen diese leicht verbrennlich, da der Sauerstoff überall leicht eindringen kann, doch bemerkt man, wie in sehr hoher Temperatur erzeugte Kohle im Allgemeinen immer dichter und deshalb schwer verbrennlich ist. Kohle.

Durch Verkohlung der Steinkohle erhält man die Kohks. Diese sind immer dichter und schwerer verbrennlich als die Holzkohle, und werden allgemein nur aus solchen Steinkohlen erzeugt, welche beim Erhitzen, vor der völligen Zersetzung, weich werden und zusammenbacken, weshalb die schließlich daraus gewonnene Kohle, in Folge der aus der backenden Masse entweichenden Gase, eine aufgeblähte, unregelmäßige uud gewöhnlich ziemlich metallglänzende, dichte Kohle vorstellt, die wegen ihres bedeutenden Kohlenstoffgehaltes sich zur Erzeugung sehr hoher Temperaturen besonders gut eignet. Der Holzkohle nähert sich in ihrer Beschaffenheit dagegen sehr die Torfkohle, weil auch der Torf während der Verbrennung nicht schmilzt oder weich wird. Harze und ähnliche Körper liefern dagegen, da sie während der Destillation ganz flüssig werden, eine zwar ziemlich poröse, aber dichte und schwerverbrennliche Kohle. Bekanntlich werden verkohlte Brennstoffe sehr häufig dem unverkohlten Material vorgezogen, obwohl das letztere in einer bestimmten Gewichtsmenge viel mehr brennbare Bestandtheile enthalten muß, als die aus dieser Quantität gewonnene Kohle. (Siehe oben.) Kohks.

Daß die Kohks als Nebenproduct bei Erzeugung des Leuchtgases aus Steinkohlen gewonnen werden, haben wir bereits erwähnt. Man erzeugt in neuerer Zeit auch aus Holz Leuchtgas, und es mag hier erwähnt werden, daß man in holzreichen Gegenden, in Retorten und ähnlichen Vorrichtungen, Holz in großen Massen zu destilliren pflegt, bloß, um als Hauptproduct den Theer und das Theerwasser zu gewinnen, worauf wir später noch zurückkommen werden. Die in diesen Fällen als Nebenproduct gewonnenen Kohlen sind nicht entfernt im Stande, den Bedarf an diesen Brennstoffen zu decken, welche deshalb, vermittelst des sogenannten Verkohlungsprocesses, an vielen Orten nach Methoden bereitet werden, bei welchen die Destillationsproducte vollständig, oder nahezu vollständig, verloren gehen. Man benutzt dabei nämlich die, durch theilweise Verbrennung des zu verkohlenden Materials, welche man rechtzeitig unterbricht, sich erzeugende Wärme, um den Rest als Kohle im Rückstande zu behalten. Holzverkohlung.

Bei Holz geschieht dies in der Regel in den sogenannten Meilern, deren Einrichtung Fig. 282 ersichtlich macht. Um den sogenannten Quandelschacht o wird das Holz, entweder wie in der Zeichnung, aufrechtstehend, oder horizontal, in zwei, zuweilen auch drei Etagen, aufgeschichtet, und dann, durch die liegenden Scheite b, die Kuppe oder Haube des Meilers, gebildet. Mit Laub und Rasenstücken bildet man dann zunächst eine Decke über das Ganze, worauf man dann noch Kohlenlösche (Kohlenstaub) Meiler.

(Fig. 282.)



bringt, und dem Ganzen durch die Stütze k (die sogenannte Rüstung), die gehörige Festigkeit verleiht. Ist der Meiler so vorgerichtet, so schreitet man zum Anzünden desselben durch Einwerfen von brennendem Holz in den Quandelschacht, und es ist nun Aufgabe, durch Einstechen von Löchern in die Decke den Luftzutritt so zu regeln, daß die Verbrennung sich erstens nur auf das nöthige Maß beschränkt, und zweitens auch regelmäßig, und zwar vom Quandelschacht aus, nach allen Richtungen fächerförmig vorschreitet, bis sie endlich an der Basis des Meilers angelangt ist, wornach man zum Ziehen der Kohlen schreitet, das heißt, die noch im Inneren des Meilers glühenden Kohlen allmälig herausholt und durch Bedecken mit Erde und Lösche vor einer weiterschreitenden Verbrennung schützt, bis sie erkaltet sind. Während dieses Vorganges tritt natürlich eine bedeutende Volumverminderung des Meilerinhalts ein, wodurch die Decke nicht selten in Unordnung geräth und häufig ausgebessert werden muß. Man erhält so 18—20 Gewichtsprocente Kohle aus dem Holze.

Kohksgewinnung.

Auch die Bereitung von Kohks wird hie und da in Meilern vorgenommen, doch pflegt man das Verkohlen der Steinkohlen gewöhnlich in Oefen durchzuführen, deren Einrichtung sehr einfach ist und an die der Backöfen erinnert. Es sind runde oder ovale, mit einem ziemlich niedrigen Gewölbe überdeckte Heerde, mit verschließbaren Thüren zum Eintragen der Steinkohlen und mehreren Zuglöchern und Essen, um den Luftzutritt bequem regeln zu können. Sind diese Oefen bereits im Betriebe, und somit heiß, so hat man nur nöthig, nachdem die fertigen Kohks herausgezogen wurden, wieder frische Kohle einzutragen, wornach bald die Destillation beginnt und sich durch Entweichen eines dunkeln Rauches kund giebt. Nach einiger Zeit ist der Inhalt des Ofens so weit erhitzt, daß die Destillationsproducte sich entzünden und dadurch den nöthigen Hitzegrad zur Fortsetzung dieses Vorganges erregen, bis endlich das Entweichen gasförmiger Producte aufhört und damit auch der Proceß der Verkohlung beendigt ist.

Benutzung der Kohle als Reinigungsmittel.

Unstreitig ist die wichtigste Anwendung der Kohle die als Brennstoff, doch benutzt man selbe auch noch als Mittel, um Flüssigkeiten und gasförmige Gemenge von gewissen Verunreinigungen zu befreien, wozu sich die Kohle vermöge ihrer merkwürdigen Eigenschaft, auf ihrer Oberfläche verschiedene Körper mit eigenthümlicher Intensität zu verdichten, besonders eignet; namentlich, wenn sie sehr porös ist, wie z. B. die Holzkohle. Glüht man solche etwas aus, um die in ihren Poren vorfindliche Luft wegzutreiben, und läßt sie hierauf unter Quecksilber auskühlen und unter einer Glocke mit Kohlensäure in Berührung kommen, so absorbirt sie von diesem Gase etwa ihr zwanzigfaches Volum, von Ammoniakgas noch weit mehr, und wir sehen hier eine ähnliche Wirkung, wie etwa bei dem fein vertheilten Platin. Die Kohle entzieht aber auch den Flüssigkeiten gewisse in Lösung darin sich vorfindliche Stoffe reichlich und zwar vorzugsweise färbende oder übelriechende Substanzen, weßhalb sie zur Beseitigung derselben bei gewissen Betrieben, z. B. in der Zuckerfabrikation, Branntweinbrennerei u. dergl. eine sehr wichtige Anwendung findet. Hiezu eignet sich besonders lockere stickstoffhaltige Kohle, welche durch Verkohlen stickstoffreicher thierischer Substanzen, wie Leim, Blut u. dergl., gewonnen wird. Alle Bedingungen großer Anwendbarkeit erfüllt dießfalls

Knochenkohle.

die sogenannte Knochenkohle, welche durch Erhitzen von Knochen der Säugethiere in eisernen bedeckten Gefäßen bis zur völligen Verkohlung und nachheriges Zerkleinern zu einem gröblichen Pulver hergestellt wird. Die Knochen bestehen aus unverbrennlichen Salzen der Phosphor- und Kohlensäure mit Kalk und Bittererde, zwischen deren Theilchen, um ihnen Halt und Festigkeit zu geben, ein stickstoffreicher organischer Körper, das leimgebende Gewebe, gleichsam als Bindemittel eingelagert ist.

Dieses liefert nun beim Erhitzen eine stickstoffreiche Kohle, welche zwischen den unorganischen Salzen, fein zertheilt, wegen ihrer ursprünglichen Beschaffenheit sowohl, wie wegen der durch erwähnte Umstände bedingten Porosität, eine so vorzügliche Wirksamkeit zeigt. Im Handel wird dieses Product Spodium genannt. Um aus der Luft Verunreinigungen, wie in lange verschlossenen Gemächern oder in Krankensälen, endlich bei Wunden sich bildende schädliche Dünste und Miasmen fortzuschaffen, hat man dagegen in neuerer Zeit mit großem Erfolg gut ausgeglühte Holzkohle in Anwendung gebracht, indem man sie an den betreffenden Orten in offenen Gefäßen aufstellte.

Die Atmosphäre.

Es wurde bereits früher erzählt, wie unsere Kenntniß über die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft erst zur Zeit Lavoisier's eine richtige geworden, wie man früher die Luft für ein gleichartiges Ganze hielt, welchem man nach der eben herrschenden Theorie verschiedene chemische Funktionen zuschrieb. Nachdem mit aller Sicherheit erkannt war, daß die Luft ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff sei und die Bedeutung des Sauerstoffs besonders für die Lebensvorgänge der Organismen immer klarer wurde, hat man sich bemüht, den Sauerstoffgehalt der Luft festzustellen. Die hieher gehörigen Versuche bezeichnet man als Eudiometrie (Luftgütemessung), Eudiometrie. weil man damals der Ansicht war, daß der verschiedene Gesundheitszustand an verschiedenen Orten seinen Grund in dem größeren oder geringeren Sauerstoffgehalte der Luft habe. Darin wurden die damaligen Chemiker noch sehr bestärkt durch die Ungleichheit der Resultate ihrer Untersuchungen, welche aber keineswegs in einer schwankenden Zusammensetzung der Luft, sondern in den unzureichenden Mitteln ihren Grund hatte, die zur Anwendung kamen. Man untersuchte die Luft, indem man Substanzen, welche den Sauerstoff absorbiren und von denen bereits oben beim Stickstoff die Rede war, in einer graduirten Röhre mit einem bestimmten Volum Luft zusammenbrachte und nach erfolgter Absorption des Sauerstoffs die dabei stattgefundene Volumverminderung beobachtete. Nachdem erkannt war, daß durch die damals benutzten Absorptionsmittel ein genaues Resultat sich nicht erzielen lasse und andererseits die constanten Raumverhältnisse, in welchen sich Gase chemisch verbinden, festgestellt wurden, benutzte man (zuerst Volta) die Verbrennung des Wasserstoffs mit Sauerstoff zur Ausmittelung des Sauerstoffgehaltes der Luft. Wenn man nämlich in einer graduirten Röhre Sauerstoff im Gemenge mit Stickstoff mit einem genau gekannten Volum Wasserstoff zusammenbringt und hierauf mittelst zweier in die Röhre eingeschmolzener Metalldräthe einen electrischen Funken durch das Gemenge der Gase schlagen läßt, so vereinigt sich sämmtlicher Sauerstoff mit Wasserstoff zu Wasser, welches sich rasch verdichtet und im Verhältniß zu den ursprünglich gasförmigen Bestandtheilen einen verschwindend kleinen Raum einnimmt. Es muß nun eine namhafte Volumverminderung des Gases eingetreten sein, in Folge deren das die Röhre absperrende Quecksilber aufwärts steigt und an der Eintheilung der Röhre mit gehöriger Berücksichtigung der Quecksilbersäule, des Luftdruckes u. s. f. die stattgefundene Raumveränderung abzulesen erlaubt. Wenn wir nun berücksichtigen, daß Sauerstoff mit Wasserstoff sich stets in dem Verhältnisse von 1 : 2 Volumen zu Wasser verbinden, so wissen wir auch, daß von dem beim Versuche verschwundenen Gasvolum gerade ein Drittel ursprünglich als Sauerstoff vorhanden gewesen.

Die vielfältigsten Untersuchungen der Luft in dieser Weise, mit aller Vollkommenheit ausgeführt, haben bewiesen, daß der Sauerstoffgehalt der- Zusammensetzung der Luft.

selben constant ist, und mag die Luft, mit Ausnahme dicht bewohnter oder ganz geschlossener Räume, wo immer gesammelt worden sein, sie zu allen Zeiten bis auf sehr geringe Schwankungen auf 20,9 Raumtheile Sauerstoff 79,1 Raumtheile Stickstoff in 100 enthält oder auf Gewicht reducirt 23,1% Sauerstoff und 76,9% Stickstoff. Diese beiden Elemente sind aber keineswegs allein als normale Bestandtheile der Luft zu bezeichnen. Wir finden darin immer auch etwas Kohlensäure; in 10,000 Raumtheilen Luft etwa 2,5 bis 5; ferner in noch geringerer Menge, aber constant, Ammoniak und meistens auch Salpetersäure, endlich Wasserdampf; diesen bekanntlich in sehr schwankenden Quantitäten.

Man darf aber nicht meinen, daß mit diesen Stoffen die Zahl der in der Luft vorfindlichen Substanzen abgeschlossen sei. Es finden sich jedenfalls immer noch viele andere flüchtige Körper in der Atmosphäre, ganz abgesehen von den in Gestalt von Staubtheilchen darin schwebenden, höchst mannigfaltigen Substanzen. Alle faulenden und verwesenden Organismen, die Millionen von Feuerheerden, welche die Menschen täglich in Thätigkeit bringen, die so zahlreichen mannigfaltigen gasförmigen Producte der menschlichen Gewerbsthätigkeit, vulkanische Gasexhalationen u. s. w., senden der Atmosphäre fortwährend fremdartige Bestandtheile zu. Es ist kein Irrthum, wenn man die Gesundheitsschädlichkeit der Lage gewisser Orte einer Verunreinigung der Luft zuschreibt, doch sind derlei fremde Beimengungen, wie sie unfehlbar namentlich in dichter bewohnten Gegenden sich vorfinden, immer nur in so kleiner Menge vorhanden, daß wir sie durch die chemische Analyse nicht mehr zu entdecken vermögen. Man wird den Umstand, daß doch verhältnißmäßig so große Quantitäten von fremdartigen Verunreinigungen, wie sie voraussichtlich täglich der Atmosphäre zugesendet werden, darin gewissermaßen verschwinden und so dem Chemiker unerreichbar werden, ganz begreiflich finden, wenn man sich erinnert, daß das Gewicht der Atmosphäre annähernd 112,500 Billionen Centner erreicht und die Kohlensäure, welche nach dem oben Gesagten doch nur in sehr kleiner Menge der Luft beigemischt ist, wiegt trotzdem im Ganzen durchschnittlich 86 Billionen Centner.

Gewicht der Atmosphäre.

Gasquellen.

In der dem Bau der Erdrinde und den verschiedenen Veränderungen, welche selbe erlitten hat, gewidmeten Abtheilung dieses Buches wird der Leser Ausführlicheres über eine sehr interessante Naturerscheinung erfahren, welche sich in einem theils langsamen, trägen, theils heftigen Austreten von Gasströmen aus dem Erdinneren äußert und vorwiegend an Orten beobachtet wird, die sich in der Nähe noch thätiger oder bereits erloschener Vulkane befinden. Wir können uns hier nur mit der chemischen Beschaffenheit dieser Gasexhalationen befassen, welche ziemlich verschieden sein kann. Jedenfalls bringen sie uns gewissen Bestandtheilen der festen Erdrinde näher, als die Betrachtung der Atmosphäre, weil sie aus der Erde stammen und mancherlei Stoffe aus den tieferen Schichten derselben zu Tage bringen. Häufig zeigen die aufsteigenden Gasquellen die gewöhnliche Erdwärme, sehr oft bringen sie aber heiß empor und führen dann meistens viel Wasserdampf mit sich. Die Entstehung dieser Gasströme ist noch unaufgeklärt. Viele derselben bieten die auffallende Erscheinung, daß sich unter den Gemengtheilen merklich Stickstoff vorfindet, was zu beweisen scheint, daß sich die atmosphärische Luft an der Bildung derselben betheiligt. Man kann bei den mit dem Vulkanismus zusammenhängenden Gaseruptionen vorzüglich zwei verschiedene Arten unterscheiden. In der ersten herrscht die Kohlensäure vor (M o f e t t e n), die

zweite ist durch die reichliche Anwesenheit von Schwefelwasserstoff charakterisirt (Solfataren). Wo die letzteren zu Tage kommen, wird ein Theil des Schwefelwasserstoffs durch den Sauerstoff der Luft unter Abscheidung des Schwefels oxydirt, indem der Wasserstoff Wasser bildet: $HS + O = HO + S$. Zuweilen tritt gleichzeitig mit dem Schwefelwasserstoff schweflige Säure auf, die sich mit dem ersteren unter Abscheidung von Schwefel und Bildung von Wasser zersetzt: $SO_2 + 2HS = 2S + 2HO$. Diese zwei Vorgänge sind die Ursache, daß der Boden in der Nähe der Solfataren mit Schwefel überzogen und durchdrungen ist, und es unterliegt keinem Zweifel, daß der unverbundene gediegene Schwefel, welchen uns die Natur bietet, zum Theil wenigstens, in der oben erwähnten Weise auf die Erdoberfläche gelangt ist.

Außer den oben kurz charakterisirten Gasquellen findet man auch noch Gasströme, welche Kohlenwasserstoffe, besonders Grubengas, mit sich führen und von diesen häufig so viel enthalten, daß sie sich leicht entzünden lassen und mit wenig leuchtender Flamme stetig fortbrennen. Manche dieser Quellen werden als Heizmittel benutzt. Viele treten gemeinschaftlich mit flüssigen Kohlenwasserstoffen (Bergöl, Naphtha) zu Tage. Ihre Entstehung hängt nicht mit dem Vulkanismus zusammen. Wir kennen zwar nicht die Vorgänge, welche die Bildung dieser an Kohlenwasserstoff reichen Gasströme veranlassen, doch läßt sich mit Bestimmtheit ein Zusammenhang derselben mit jenen Processen annehmen, welche die Entstehung der Steinkohlen vermitteln. Das schon oben berührte Vorkommen des Grubengases in den Kohlengruben und die Beschaffenheit der erwähnten flüssigen Kohlenwasserstoffe sprechen für diese Voraussetzung. Mit den hier bis jetzt aufgeführten Bestandtheilen der Gasquellen ist die Reihe der Stoffe aber keineswegs abgeschlossen, welche auf diesem Wege über die Erde gelangen und sich zum Theil der Atmosphäre beimischen. Wo die Gasströme sich rasch bewegen, nehmen sie auch starre, an sich nicht flüchtige Substanzen, wie z. B. Eisenvitriol, schwefelsaure Thonerde u. a. mit, und wir werden bald über Gasquellen berichten, welche Borsäure zu Tage bringen, die man mit Vortheil gewinnt und massenhaft für technische Zwecke verwendet.

Vorerst aber haben wir uns mit dem charakteristischen Bestandtheile der Solfataren, dem

Schwefel,

als einem sehr verbreiteten und ungemein wichtigen Elemente, zu beschäftigen. Ueber sein Vorkommen als Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und gediegener Schwefel wurde oben berichtet. Zudem findet man den Schwefel häufig an Metalle gebunden, ferner in großen Massen in Gestalt von schwefelsauren Salzen, besonders als schwefelsauren Kalk (Gyps) und schwefelsaures Natron. Endlich macht der Schwefel im unoxydirten Zustande einen Bestandtheil gewisser ungemein wichtiger und sehr verbreiteter organischer Verbindungen aus.

Gleich dem Kohlenstoff zeigt der Schwefel mehrere allotropische Modificationen. Man trifft ihn natürlich zuweilen in deutlichen octaedrischen Krystallen des zwei- und zweigliedrigen Systems, und in diesem Zustande hat er die bekannte gelbe Farbe, welche jedoch bei einer Kälte von -50^0 beinahe in Weiß übergeht. Das specifische Gewicht des erwähnten krystallisirten Schwefels beträgt 2,07. Er ist, wie alle übrigen Modificationen, ohne Geruch und Geschmack und im Wasser unlöslich. Die Electricität leitet er Modificationen des Schwefels

schlecht, wird aber selbst leicht electrisch. Bei einer Temperatur von 114,5° schmilzt der Schwefel und bildet eine grüngelbe bewegliche Flüssigkeit. Wenn man diese langsam abkühlen läßt, beginnt der Schwefel zu krystallisiren; gießt man den noch flüssigen Theil rasch ab, so erhält man lange schmale große Prismen, welche dem zwei- und eingliedrigen Systeme angehören, von mehr grüngelber Farbe sind und ein spec. Gewicht von 1,96 zeigen. Die übrigen Eigenschaften theilt dieser Schwefel mit der ersten Modification. Beide lösen sich leicht in Schwefelkohlenstoff, liefern aber beim Verdunsten desselben die octaedrischen Krystalle der ersten Modification. Diese bilden sich auch aus den schiefen Prismen der zweiten, entweder bei längerem Stehen oder wenn man durch Ritzen mit einem harten Körper einen Anstoß zur Umlagerung der Krystalle giebt. Ohne daß die äußere Form die geringste Veränderung erfährt, sind die Prismen in ein Aggregat von sehr kleinen Octaedern umgewandelt und verlieren dadurch ihre Durchsichtigkeit und glatte Oberfläche. Diese Erscheinung beobachten wir auch bei manchen anderen Körpern und sie beweist uns, daß selbst im starren Zustande den Molekülen eine gewisse Beweglichkeit vorbehalten geblieben. Außer diesen beiden Modificationen des Schwefels hat man noch einen zähen unkrystallisirten beobachtet, welcher durch sehr schnelles Abkühlen des bis zum Sieden erhitzten Schwefels, z. B. beim Eingießen in kaltes Wasser, entsteht. Er bildet dann eine zähe, elastische, durchsichtige, gelbe Masse, deren spec. Gewicht 1,91 beträgt. In diesem Zustande verharrt der Schwefel übrigens auch nicht lange; er wird wieder starr und krystallinisch. Erhält man Schwefel längere Zeit bei einer Temperatur von etwa 200° im Schmelzen, so scheiden sich Partien desselben in schwarzen Körnern ab, so daß außer den drei Hauptmodificationen noch wenigstens eine vierte als existirend angenommen werden muß. Wird der Schwefel über seinen Schmelzpunkt hinaus erwärmt, so nimmt er einen zähflüssigen Zustand und eine dunkelroth-braune Farbe an. Bei +420° erscheint er dünnflüssiger und beginnt zu sieden. Die Dämpfe desselben haben eine gelbrothe Farbe und ein spec. Gewicht von 6,6. Nimmt man die Verflüchtigung in einer Retorte vor, so verdichtet sich der Schwefeldampf vorerst zu sehr kleinen gelben Tröpfchen, welche Schwefelblumen heißen. Dieß kann natürlich nur dann geschehen, wenn die kühlenden Wände des Apparates nicht die Schmelztemperatur des Schwefels haben, von welchem Augenblicke an dann sich flüssiger Schwefel condensiren muß.

Schwefelblumen.

Gewinnung des Schwefels.

Der Schwefel hat, neben seiner großen Bedeutung für so viele natürliche Vorgänge, auch eine besondere Wichtigkeit wegen seiner vielseitigen technischen Verwendung und wird daher dort, wo er sich reichlich findet, gewonnen. Stellenweise trifft man ihn nur wenig mit fremdartigen Bestandtheilen gemengt und dann genügt es, ihn in eisernen Kesseln zu schmelzen und durch Absetzen der Beimischungen zu reinigen. Häufig begleiten diese aber den natürlichen Schwefel so reichlich, daß eine solche Läuterung nicht angeht und man zu einer Destillation seine Zuflucht nehmen muß, wobei die nicht flüchtigen erdigen Beimengungen, wie Mergel, Kalkstein, Gyps, als Rückstand in der Retorte bleiben. Die Destillation wird gewöhnlich ziemlich roh, aus irdenen Krügen vorgenommen, welche reihenweise in passenden Oefen aufgestellt und beheizt sind. Die Krüge sind mit nach abwärts geneigten Hälsen versehen, welche die Schwefeldämpfe in eine ähnlich geformte Vorlage leiten, wo sich die Schwefeldämpfe condensiren und der flüssige Schwefel

durch ein am Boden angebrachtes Rohr in ein untergesetztes Gefäß abfließt. Das Produkt wird Rohschwefel genannt und ist noch sehr unrein, für manche Zwecke aber ganz tauglich; doch läutert man den Schwefel nicht selten ein zweitesmal durch eine sorgfältigere Destillation, welche dann aus überwölbten gußeisernen Kesseln vorgenommen wird, die durch einen kurzen Kanal mit ziemlich großen gemauerten Kammern in Verbindung stehen, wo sich anfangs der Schwefel zu Schwefelblumen verdichtet, später aber, wenn die Wände der Kammer bereits auf 114,5^0 erwärmt sind, sich flüssiger Schwefel am Boden ansammelt und von da durch Rinnen abgelassen werden kann. Es ist also möglich, wenn man von Zeit zu Zeit die Operation unterbricht, Schwefelblumen zu fabriciren oder im Gegentheile Stangenschwefel; denn in der Regel gießt man den Schwefel in hölzerne Stangenformen, wo er erstarrt und dann die bekannten Schwefelstangen vorstellt. Die größte Menge des Schwefels wird in Sicilien gewonnen. Im Vergleich zu dieser ist die Quantität Schwefel sehr klein, welche man hie und da aus Schwefelkies erzeugt, ein an manchen Orten in großen Massen auftretendes Mineral, welches aus zwei Atomen Schwefel und einem Atom Eisen besteht und beim Erhitzen in Retorten die Hälfte des Schwefels dampfförmig abgibt, während einfach Schwefeleisen zurückbleibt.

Wir haben bereits beim Sauerstoff erwähnt, wie manche Elemente die Fähigkeit besitzen, Säuren und Basen hervorzubringen; was besonders vom Sauerstoff selbst gilt. Der Schwefel ahmt diesen in seinen Verbindungsweisen im hohen Grade nach, er verbindet sich mit Metallen zu Körpern, die den Sauerstoffsäuren analog zusammengesetzte Schwefelverbindungen, Sulfosäuren, liefern, von denen nicht wenige auch natürlich vorkommen. Trotz dieser großen Aehnlichkeit ist die Verwandtschaft des Schwefels zum Sauerstoff sehr groß, wird aber bei direkter Vereinigung erst in höherer Temperatur rege. Bei stärkerem Erhitzen des Schwefels an der Luft entzündet er sich bekanntlich und verbrennt mit blaßblauer Flamme, unter Verbreitung eines erstickenden Geruchs, welcher dem Verbrennungsprodukte, der schwefligen Säure SO_2, zukömmt. Diese kann man bequemer auch durch Erwärmen von Kupfer oder Quecksilber mit Schwefelsäurehydrat erzeugen, wobei ein Theil des Letzteren an das Metall Sauerstoff abgibt und, zu schwefliger Säure reducirt, gasförmig entweicht, während sich das so entstandene Metalloxyd, mit einem anderen Antheile der Säure, zu neutralem Salz verbindet. Die schweflige Säure bildet in gewöhnlicher Temperatur ein farbloses irrespirables Gas von 2,247 spec. Gewicht. Schon bei einer Temperatur von — 20^0 wird sie zu einer leicht beweglichen farblosen Flüssigkeit condensirt, deren Siedepunkt bei — 8^0 liegt. Man hat auch eine krystallinische Verbindung der Säure mit Wasser hervorgebracht. Letzteres löst sie reichlich auf und bildet damit eine deutlich sauerschmeckende Flüssigkeit, vom Geruch der schwefligen Säure. Man bedient sich derselben als Bleichmittel für Seide, Stroh, Wolle, zum Ausbringen von Obstflecken, wie auch hie und da als Heilmittel, im großartigen Maßstabe aber als Material zur Erzeugung von Schwefelsäure. Schweflige Säure.

Die Schwefelsäure kennen wir im wasserfreien Zustande und als Hydrat. Die wasserfreie Schwefelsäure SO_3 bildet eine farblose, zähe, aus feinen seidenglänzenden, federförmig vereinigten Nadeln zusammengesetzte Masse, welche bei 23^0 schmilzt, bei etwa 52^0 siedet, aber schon in gewöhnlicher Temperatur an der Luft verdampft, dort, Feuchtigkeit anziehend, sich in das Schwefelsäure.

sehr schwer flüchtige Schwefelsäurehydrat verwandelt und dann dicke weiße Nebel bildet. Die Verwandtschaft der wasserfreien Säure zu Wasser ist sehr groß, und bringt man eine etwas bedeutende Menge derselben in Wasser, so ist die bei der Verbindung sich entwickelnde Wärme so mächtig, daß das Wasser mit einem Geräusche aufbraust, wie wenn glühendes Eisen hineingesenkt worden wäre. Hat man ziemlich viel Wasser bei diesem Versuche angewendet, so erhält man verdünnte Schwefelsäure, als eine wasserhelle geruchlose Flüssigkeit, von sehr saurem Geschmacke. Wird diese in einer Retorte, mit eingesenktem Thermometer, zum Sieden gebracht, so destillirt anfangs, unter beständigem Steigen des Siedepunktes, bloß Wasser über, bis die Temperatur 205° erreicht hat, wo sich auch in der Vorlage Säure zu zeigen beginnt. Der Siedepunkt steigt aber fortwährend und erreicht endlich 324°, von da an bleibt er aber constant, woraus sich entnehmen läßt, daß nun eine beständige, durch Wärme nicht mehr zerlegliche Verbindung des Wassers mit Schwefelsäure sich verflüchtigt; diese ist das zweite Hydrat oder gewöhnliche Schwefelsäure von der Zusammensetzung: SO_3, HO. Es bildet eine ölartige, geruch- und farblose Flüssigkeit, welche an der Luft nicht raucht, ein spec. Gewicht von 1,848 zeigt, organische Stoffe zerstört und gewöhnlich auch bräunt, sich unverändert destilliren läßt und erst bei —35° fest wird. Leitet man in diese Säure Dämpfe von wasserfreier Schwefelsäure, so werden diese reichlich absorbirt, bis endlich das sogenannte erste Hydrat sich gebildet hat, welches nach der Formel $2SO_3, HO$ zusammengesetzt ist und eine farblose Flüssigkeit vorstellt, die an der Luft beständig Dämpfe der wasserfreien Säure ausstößt und deshalb raucht. Das spec. Gewicht des ersten Hydrats beträgt 1,854. Beim Mischen mit Wasser entwickeln beide Hydrate viel Wärme. Setzt man dem zweiten Hydrat noch ein Atom Wasser zu, so bildet sich ein drittes Hydrat: $SO_3, 2HO$, welches schon bei 6° über Null zu großen durchsichtigen prismatischen Krystallen erstarrt und deshalb auch Eisöl genannt wird. Es hat ein spec. Gewicht von 1,78 und beginnt bei 205° zu sieden, wobei aber nur Wasser mit etwas Säure entweicht, bis endlich, wie oben bemerkt, das zweite Hydrat zurückbleibt.

Hydrate der Schwefelsäure.

Die große Verwandtschaft, welche die Schwefelsäure zu den Basen zeigt, macht sie zur Abscheidung vieler Säuren aus ihren Salzen geeignet. Eine große Anzahl von Metallen wird durch Schwefelsäure, unter Bildung schwefelsaurer Verbindungen, gelöst. Man verwendet sie zudem noch für mannigfaltige andere Zwecke, von welchen wir viele noch später namhaft machen wollen, sowohl in den Gewerben, wie den Laboratorien, und es muß deshalb die Schwefelsäure als eine der wichtigsten chemischen Verbindungen bezeichnet werden, welche den Ausgangspunkt für zahlreiche, im großartigsten Maße betriebene Industriezweige bildet. Sie wird deshalb auch in sehr bedeutenden Quantitäten fabrikmäßig erzeugt.

Rauchende Schwefelsäure.

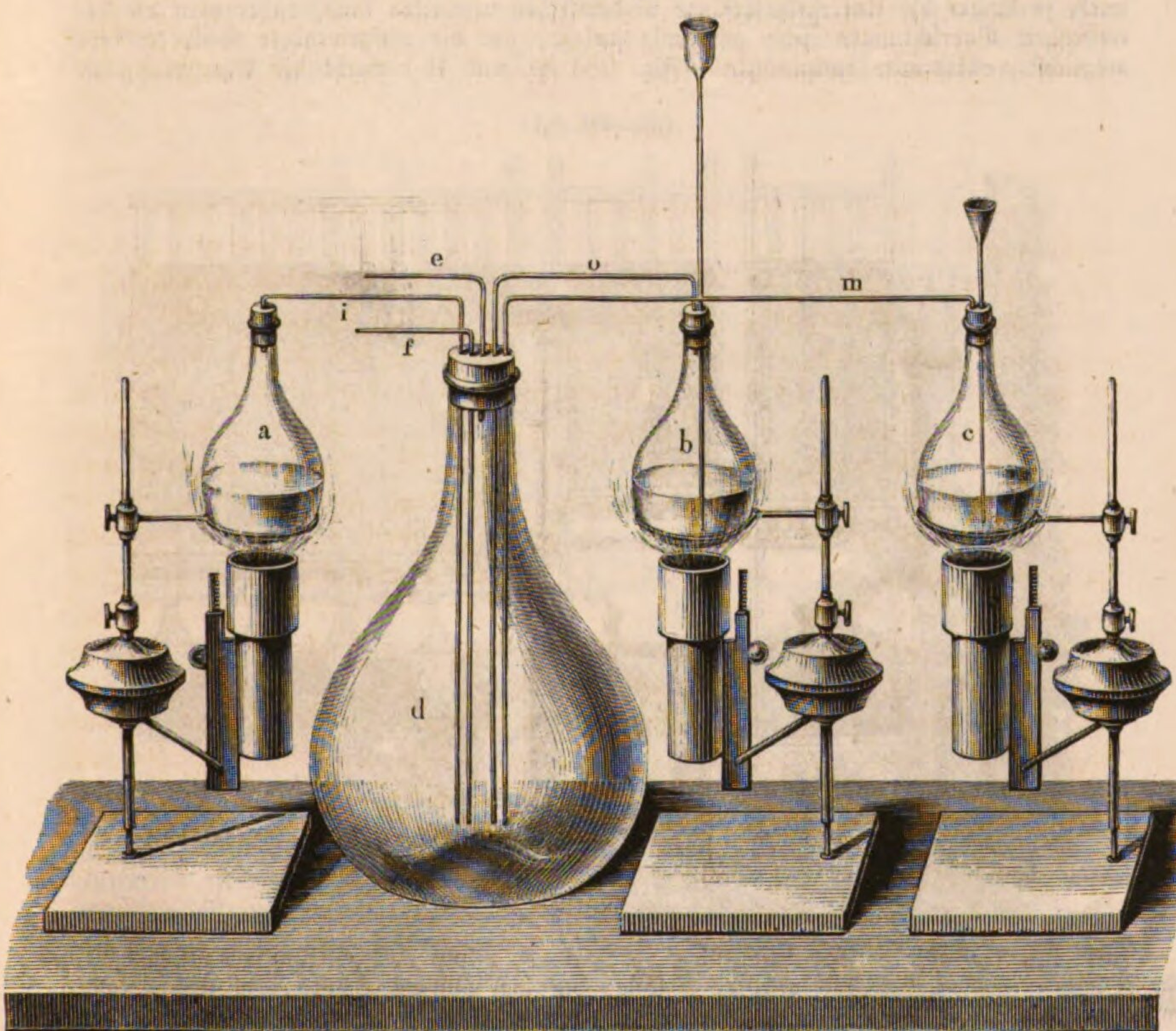
Es kommen zweierlei Sorten in den Handel: die Nordhäuser oder rauchende Schwefelsäure (das rauchende Vitriolöl) und die englische Schwefelsäure (das englische Vitriolöl). Ersteres ist ein Gemenge des ersten und zweiten Hydrats, wie schon der Name andeutet. Man erzeugt sie durch Einleiten der wasserfreien Säure in die englische Schwefelsäure, welche als ein Gemenge des zweiten und dritten Hydrats zu betrachten ist und von letzterem etwa 15 % enthält. Die Nordhäuser Schwefelsäure wird vorzugsweise in Böhmen fabricirt. Die wasserfreie Schwefelsäure erzeugt man dort durch Glühen von basisch schwefelsaurem Eisenoxyd, welches

in der Hitze die Schwefelsäure wasserfrei fahren läßt, während das Eisenoxyd unverbunden zurück bleibt. Das genannte Salz wird durch Erwärmen von Eisenvitriol an der Luft gewonnen. Dieser ist schwefelsaures Eisenoxydul. Die Basis desselben oxydirt sich leicht zu Eisenoxyd und es entsteht so das erwähnte basische Salz. Dieses bringt man hierauf in birnförmige Retorten aus feuerfestem Thon, von denen mehrere Reihen in einem Ofen eingesetzt sind und deren Hälse aus demselben hinaus reichen. Nun wird anfangs gelinder erhitzt, um zunächst alle Feuchtigkeit fortzutreiben, hierauf steigert man die Temperatur und sobald sich die weißen Nebel der wasserfreien Säure zeigen, verbindet man die Retortenhälse mit den Vorlagen, in welchen sich bereits die entsprechende Menge Schwefelsäurehydrat vorfindet, welches nun die wasserfreie Schwefelsäure absorbirt. Das Produkt dient vorzugsweise zum Auflösen von Indigo (s. unten), in den Laboratorien aber zur bequemen Darstellung der wasserfreien Schwefelsäure, indem es beim Erwärmen in einer Retorte diese abgiebt, während das zweite Hydrat zurückbleibt.

Englische Schwefelsäure und deren Fabrikation.

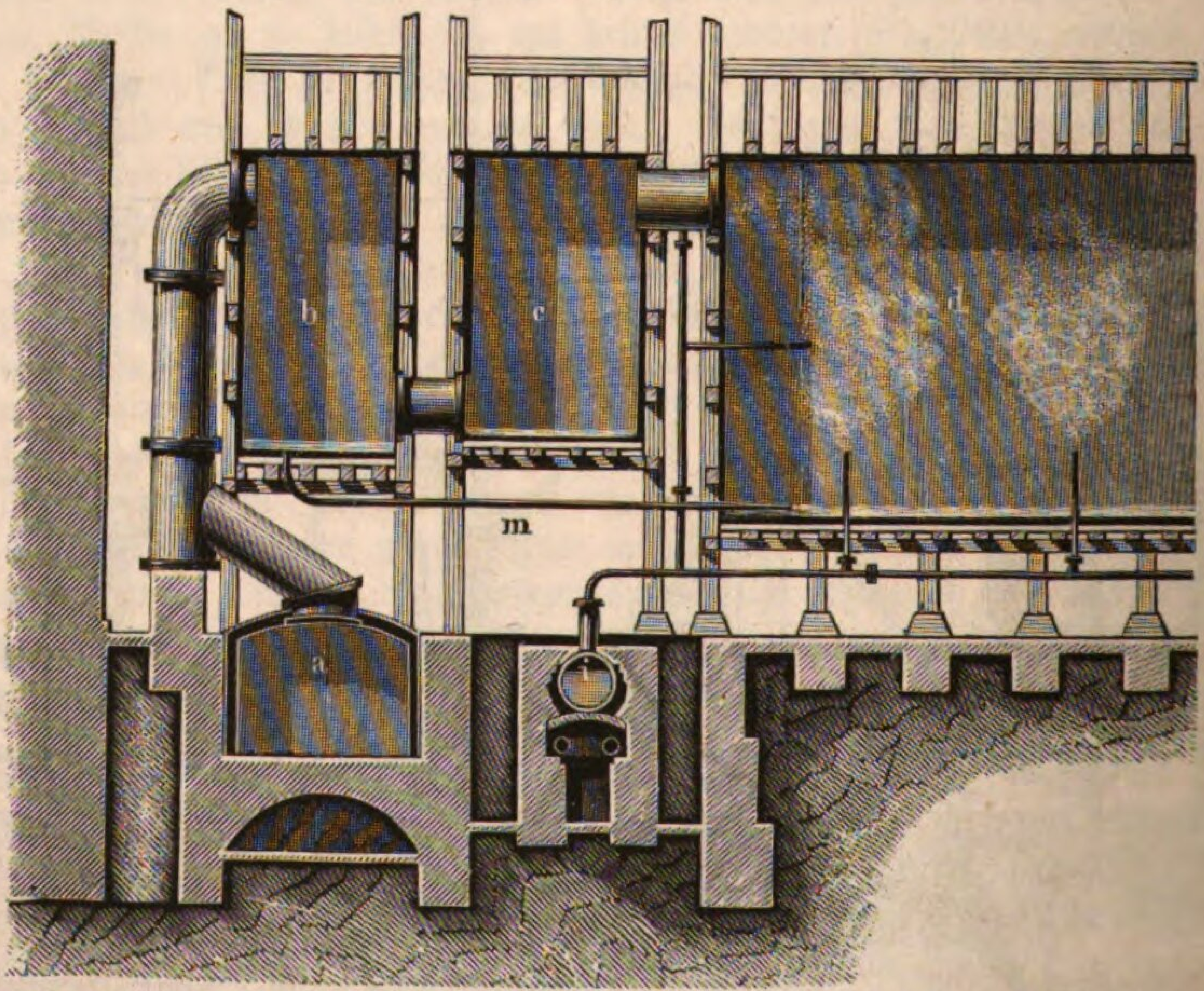
Viel großartiger ist die Quantität der fabriksmäßig producirten englischen Schwefelsäure. Bevor wir den Betrieb dieser Erzeugung etwas näher schildern, wollen wir die Theorie derselben erörtern. Denken wir uns in Fig. 283 den Kolben a mit Wasser gefüllt, während sich in b verdünnte Salpetersäure mit Kupfer, in c concentrirte Schwefelsäure mit Quecksilber befinden und der große Glasballon d mit Sauerstoff gefüllt ist, von welchem auch später beliebig durch das Rohr f, aus einem Gasometer, welches in der Zeichnung weggelassen ist, noch weiter eingeleitet werden kann und durch

(Fig. 283.)



das Rohr e die Gase allenfalls auszutreten vermögen. Sobald wir durch gelindes Erwärmen aus b Stickoxyd entwickeln und dieses durch o in den Ballon tritt, bilden sich dort sogleich Dämpfe von Untersalpetersäure (s. S. 496). Wird sodann die Bildung von Stickoxyd unterbrochen, während aus a Wasserdampf und aus c durch m schweflige Säure in den Ballon treten, so verschwindet die Untersalpetersäure und es sammelt sich am Boden von d wässerige Schwefelsäure an, deren Bildung unausgesetzt fortschreitet, wenn wir fortfahren, gleichförmig Wasserdampf, schweflige Säure und Sauerstoff in den Ballon treten zu lassen, ohne daß hierbei ein weiteres Einleiten von Stickoxyd nöthig wäre. Welches ist nun die Wirkung des letzteren Körpers, den wir zu Anfang bei Bildung der Schwefelsäure nicht entbehren konnten? Sie beruht auf der Bildung von Untersalpetersäure, welche wir oben beobachtet haben und die durch den Wasserdampf in Salpetersäure und Stickoxydgas zerlegt wurde. Die Salpetersäure aber verwandelt sich bei Gegenwart von schwefliger Säure und Wasser in Untersalpetersäure, während andererseits Schwefelsäurehydrat entsteht. Der zutretende Sauerstoff hat überdieß das Stickoxyd ebenfalls in Untersalpetersäure übergeführt, welche neuerdings durch Wasser die erwähnte Zersetzung erleidet und dann als Salpetersäurehydrat ihre oxydirende Wirkung auf eine entsprechende Menge schweflige Säure beginnen kann. Wir sehen also, daß eigentlich eine kleine Menge Salpetersäure, falls nur Sauerstoff, Wasser und schweflige Säure unausgesetzt im richtigen Verhältnisse nachströmen, eine unbegrenzte Menge von schwefliger Säure in Schwefelsäure überzuführen vermag. Auf diesem Vorgange beruht nun die Fabrikation des englischen Vitriolöls mit dem Unterschiede, daß statt Sauerstoff Luft angewendet wird, deren Stickstoff beständig aus dem Gefäße, in welchem die Gase auf einander wirken, entfernt werden muß, was nicht geschehen kann, ohne daß gleichzeitig das beigemengte Stickoxyd und Untersalpetersäuredampf mit entweichen und somit für den weiteren Verlauf des Vorganges verloren gehen. Man ist daher genöthigt, von Zeit zu Zeit die wirkende Salpetersäure im Apparate zu erneuern. Es ist klar, daß dieser seinem Zweck um so mehr entsprechen wird, je länger die Untersalpetersäure in demselben verweilen kann, daher man die betreffenden Vorrichtungen sehr geräumig anlegt, um die aufgewendete Salpetersäure möglichst vollkommen auszunützen. Fig. 284 (I. und II.) macht die Einrichtung in

(Fig. 284. I.)

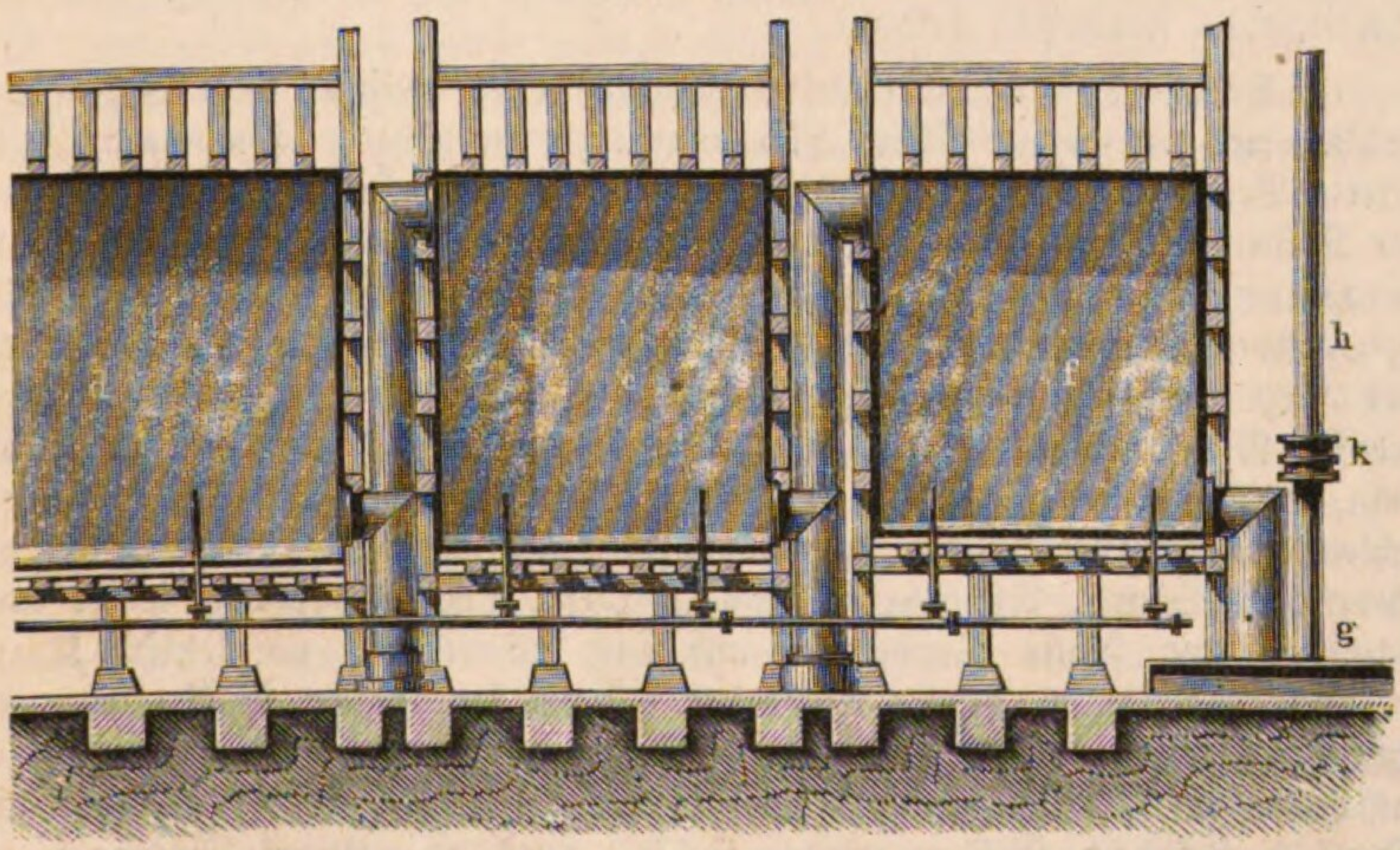


ihren wesentlichsten Theilen ersichtlich. b, c, d, e, f sind aus Bleiplatten zusammengefügte, durch Holzgerüste gestützte Gefäße, die sogenannten **Bleikammern**. Man verwendet dieses Material, weil es von den darin in Wechselwirkung gebrachten Stoffen wenig angegriffen wird. Die Kammern b, c, e, f sind viel kleiner als d, welche in

Die Bleikammern.

der Zeichnung nur theilweise ausgeführt ist. Durch die weiten Röhren, welche in der Abbildung deutlich sichtbar sind, communiciren sämmtliche Kammern dergestalt mit einander, daß die Gase, welche sich von b nach f bewegen, auf- und abzusteigen genöthigt sind. Man giebt der Hauptkammer häufig einen Rauminhalt von etwa 160,000 Kubikfuß; die Nebenkammern b, c, e, f, nehmen zusammengenommen etwa den vierten Theil dieses Raumes ein. Ein eiserner Ofen a, welcher durch ein weites Rohr mit der ersten Nebenkammer b in Verbindung gesetzt ist, dient zum Verbrennen des Schwefels. Die schweflige Säure mit einem Ueberschuß von Luft gelangt nach b und von dort nach c, wo terrassenförmig über einander aufgestellte flache Schalen, in welche beständig durch ein Bleirohr Salpetersäure einfließt, die sich dort mit großer Oberfläche verbreitet, aufgestellt sind. Hier findet nun die oben erwähnte Reduction der Salpetersäure statt, es bildet sich Untersalpetersäuredampf, welcher mit den übrigen Gasen in die Hauptkammer strömt, während die am Boden sich ansammelnde Schwefelsäure, welche noch einen merklichen Antheil Salpetersäure enthält, nach b abfließt, wo die Salpetersäure vollständig zersetzt wird und von da durch das Rohr m in die Hauptkammer gelangt. In dieser geht nun der eigentliche Umwandlungsproceß in großem Maßstabe vor sich. Aus dem Dampfkessel i tritt durch eine gewisse Anzahl von Zweigröhren der hierzu nöthige Wasserdampf in die Kammer und es verdichtet sich reichlich Schwefelsäure, welche vom Boden der Kammer durch ein Rohr continuirlich abfließt. Durch die beständig nachströmenden Gase verdrängt, muß das Gemenge nun nach e und von da nach f vorwärts schreiten, wo sich der Proceß fortsetzt, so daß schließlich nur wenig unveränderte schweflige Säure mehr durch das als Esse dienende Bleirohr h entweichen kann, nachdem sich die letzten Antheile von Schwefelsäure noch in dem flachen Kasten g angesammelt haben. Die Erweiterung k enthält eine durchlöcherte Bleiplatte, welche durch theilweise Bedeckung der Oeffnungen den Luftzug und somit den Verlauf des Processes zu regeln gestattet. Aus e und f fließt die Säure ebenfalls nach d ab. Erfahrungsmäßig gelingt der Proceß am besten, wenn so viel Wasser in die Kammern einströmt, daß die Säure etwa ein spec. Gewicht von 1,5 zeigt und 60% Säurehydrat enthält. Man nennt sie Kammersäure und kann sie unmittelbar für manche Zwecke verwenden; gewöhnlich aber ist es nöthig, sie auf den oben erwähnten Grad zu concen-

(Fig. 284. II.)



triren. Dieß geschieht zunächst in flachen Bleipfannen, wo man durch Erwärmen das Wasser so weit verdampft, daß beiläufig das dritte Hydrat entsteht. Die weitere Concentration geschieht, um die von nun an sich verflüchtigende Säure wieder zu gewinnen und ihre lästigen Dämpfe zu condensiren, in einer aus Platin construirten Destillirblase, wo man sie so lange erwärmt, bis eine Säure von oben erwähnter Zusammensetzung und einem spec. Gewicht von 1,82 zurückbleibt. Dann entleert man die Blase mittelst eines nach Art der Liebig'schen Kühler gekühlten Hebers und läßt die rasch kalt gewordene Säure gleich in die zur Versendung bestimmten Flaschen fließen.

Weitere Oxydationsstufen des Schwefels.

Die übrigen Oxydationsstufen des Schwefels zeigen eine ziemlich complicirte Zusammensetzung und finden sich nirgends in der Natur. Mit Ausnahme der unterschwefligen Säure, welche man bis jetzt nicht isolirt hat, sind es farb- und geruchlose Flüssigkeiten, die sich, namentlich beim Erwärmen, leicht zersetzen.

Schwefelwasserstoff.

Schwefelwasserstoff. Die Bildung dieses Körpers findet unter sehr mannigfaltigen Verhältnissen statt. Er erinnert dießfalls, sowie hinsichtlich seiner Zusammensetzung an das Wasser. Seine Formel ist: HS. Erhitzt man Schwefel im Wasserstoffgas, so entstehen nur Spuren der Verbindung. Leitet man über gewisse Schwefelmetalle in der Glühhitze Wasserdampf, so tritt Doppelzersetzung ein und es bildet sich Metalloxyd und Schwefelwasserstoff. Solche Schwefelmetalle geben auch bei Gegenwart von Schwefelsäurehydrat statt Wasserstoff die Schwefelverbindung desselben, wie z. B. einfach Schwefeleisen, welches auch in der Regel zur Darstellung des Gases dient. Schwefelhaltige organische Substanzen entwickeln beim Faulen, zuweilen auch beim bloßen Erhitzen, ebenfalls Schwefelwasserstoff. Es ist ein farbloses coërcibles Gas, welches einen höchst unangenehmen Geruch besitzt, an der Luft angezündet mit blauer Flamme zu Wasser und schwefliger Säure verbrennt, ein spec. Gewicht von 1,91 hat und vom Wasser zu 2,5 Volum absorbirt wird. Das so gebildete Schwefelwasserstoffwasser wird bei Zutritt der Luft zerlegt, indem sich der Wasserstoff oxydirt und der Schwefel als Schwefelmilch abscheidet. Der Wasserstoff ist überhaupt in dieser Verbindung ziemlich lose gebunden und tritt sehr leicht an andere Körper, wie Chlor, Brom u. s. w., wenn diese mit Schwefelwasserstoff zusammenkommen. Auch ein fünffach Schwefelwasserstoff HS_5 ist als eine ölartige gelbe, höchst übelriechende Flüssigkeit bekannt.

Schwefelkohlenstoff.

Schwefelkohlenstoff liefert uns das erste Beispiel einer Sulfosäure, welche, wie wir bereits Seite 475 angeführt, in höherer Temperatur durch directe Vereinigung erzeugt werden kann und in ihrer Zusammensetzung genau der Kohlensäure entspricht. Der Schwefelkohlenstoff wird deßhalb auch Sulfocarbonsäure genannt. Er bildet sich zudem bei der trockenen Destillation schwefelhaltiger organischer Substanzen und ist eine farblose bewegliche, das Licht stark brechende Flüssigkeit, welche bei 48° siedet, einen unangenehmen Geruch verbreitet, ein spec. Gewicht von 1,293 zeigt, sich im Wasser nicht löst, aber mit Weingeist und Aether leicht mischen läßt. Der Schwefelkohlenstoff verbrennt an der Luft mit blaßblauer Flamme zu Kohlensäure und schwefliger Säure, löst sehr reichlich Schwefel und Phosphor, sowie auch Kautschuk und Gutta-Percha auf und wird namentlich, um letztere Körper in Lösung zu führen, häufig verwendet. Beim sogenannten Vulkanisiren des Kautschuks wird meistens auch Schwefelkohlenstoff benutzt. Man erzeugt ihn in chemischen Fabriken, indem man in Röhren oder anderen passenden Gefäßen zu heftigem Glühen erhitzte Kohle, durch zeitweiliges Eintragen von Schwefel, mit den Dämpfen desselben in Wechselwirkung bringt und das Produkt in gut gekühlten Vorlagen condensirt.

Selen und Tellur.

Selen und Tellur sind zwei Elemente, welche sich äußerst spärlich in der Natur vorfinden und im reinen unverbundenen Zustande große Aehnlichkeit mit den Metallen zeigen. Ihre Verbindungsverhältnisse schließen sich aber jenen des Schwefels an, so, daß man sie jetzt mit Recht neben Schwefel einzureihen pflegt.

Wir haben bereits oben angedeutet, daß es eigenthümliche Gasquellen giebt, welche neben verschiedenen anderen Substanzen auch Borsäure mit sich führen. Diese Quellen nehmen ein ziemlich großes Gebiet im Toscanischen ein, welches sie ganz durchwühlt haben. Da die Gase heiß zu Tage kommen, so erklärt sich, daß die Gegend unfruchtbar ist und namentlich an Brennholz Mangel leidet. Man benutzt in origineller Weise die heißen Gase selbst als Heizmittel, um die zunächst in verdünnter wässeriger Lösung gewonnene Borsäure durch Eindampfen und nachheriges Krystallisiren abzuscheiden und sie schließlich zu trocknen. Zu diesem Behufe läßt man die Gase unter dem Boden von flachen Bleipfannen hinstreichen, wodurch allmälig die Flüssigkeit so weit concentrirt wird, daß sie, nachdem man sie in größere Gefäße gebracht hat, wo sie sich abkühlt, reichlich Krystalle von Borsäurehydrat fallen läßt. Diese werden herausgenommen, man läßt die Mutterlauge in Weidenkörben abtropfen und trocknet endlich in gleichfalls mittelst der heißen Gase beheizten Kammern. Um die ursprüngliche Lösung der Borsäure herzustellen, leitet man die Gase in der Weise durch Wasser, daß man an passenden Stellen gemauerte, terrassenförmig übereinander aufgestellte Bassins so herrichtet, daß die Stelle des Bodens, welche von den aufströmenden Gasen durchbrochen wird, zugleich den Boden des Bassins bildet. Dieses wird mit Wasser gefüllt und damit das Gas gezwungen, durch das Wasser zu streichen und an selbes die Borsäure abzugeben. Sobald das Wasser eine gewisse Menge Borsäure aufgenommen hat, wird es in das nächstfolgende Bassin abgelassen und das erste Bassin wieder mit frischem Wasser gefüllt. Nachdem die Lösung solchergestalt eine Reihe von derlei Bassins passirt hat, erscheint sie hinreichend mit Borsäure beladen, um der Verdampfung in den erwähnten Pfannen übergeben werden zu können. Auf dem angedeuteten Wege werden jährlich beiläufig 18000 Centner Borsäure gewonnen, welche man größtentheils zur Fabrikation von künstlichem Borax verwendet. Das in der Borsäure mit Sauerstoff verbundene Radical heißt (Die Suffioni im Toscanischen.)

Bor.

Man hat es bis in die neueste Zeit nur in Gestalt eines braungrünen, geruch- und geschmacklosen, weichen Pulvers gekannt. Unlängst ist es gelungen, es auch in Krystallen zu erhalten, welche sehr glänzend und so hart wie Diamant sind. Bor findet sich nicht unverbunden in der Natur und die einzige natürliche Verbindung desselben ist die schon erwähnte **Borsäure**, (Borsäure.) welche unter lebhafter Feuererscheinung entsteht, wenn man Bor an der Luft oder in Sauerstoff erhitzt. Die Zusammensetzung der Borsäure entspricht der Formel BO_3. Sie wird als Hydrat im Sassolin, als saures Natronsalz im Borax (**Tinkal**), im Borazit und noch einigen Mineralien, sowie in verschiedenen Mineralwassern gelöst, angetroffen, erscheint aber im Ganzen sehr spärlich. Das Hydrat kann man künstlich aus dem Borax abscheiden, indem man eine heiße gesättigte Lösung desselben mit überschüssiger Schwefelsäure zersetzt, welche sich des Natrons bemächtigt. Während des Erkaltens scheidet sich das Hydrat: $BO_3,3HO$, in Gestalt von farblosen perlmutterglänzenden Blättchen aus. Beim Erhitzen entweicht das Wasser daraus unter lebhaftem Aufschäumen und in schwacher Glühhitze bildet sich endlich eine weiche zähe Masse von wasserfreier Borsäure, die beim Erkalten glasartig und durchsichtig erstarrt. In diesem Zustande ist die Borsäure sehr feuerbeständig. Wenn man aber eine wässerige Lösung von Borsäurehydrat zum

lebhaften Sieden bringt, so verflüchtigen sich mit den Wasserdämpfen merkliche Mengen der Säure. Dieser Umstand erklärt das Auftreten der Borsäure in den suffioni, und der Sassolin verdankt seine Bildung gewiß diesem eigenthümlichen Verhalten der Säure.

Quell- und Meerwasser.

Während die Luft nur spärlich und an verhältnißmäßig wenigen Orten in die äußere Erdrinde eindringt und an den dort stattfindenden chemischen Vorgängen einen beschränkteren Antheil nimmt, ist dem Wasser eine viel wichtigere Rolle zugewiesen, wo es sich darum handelt, eine Wechselwirkung zwischen der festen Erdmasse und dem über derselben befindlichen zu vermitteln. Die Fähigkeit des Wassers, sich in Dampfgestalt mit der Luft zu mengen, in Folge einer theilweisen Condensation dort wieder in den flüssigen Zustand überführt zu werden und in dieser Form zur Erdoberfläche zurückzukehren, ermöglicht eine sehr vielseitige Berührung des Wassers mit den verschiedenartigsten Körpern, auf deren Beschaffenheit es in vielen Fällen nicht ohne Einfluß bleibt. Das Regenwasser, von dem man bei oberflächlicher Betrachtung voraussetzen sollte, daß es, nachdem es durch Verdichtung des Dampfes entstanden, seine Bildung einem Vorgange verdankt, welcher an die Destillation erinnert, völlig rein sei, ist dies keineswegs, indem es auf seinem Wege durch die Luft immer Substanzen begegnet, die es aufzunehmen vermag und welche das Wasser begleiten. Es sind dies theils in Wasser lösliche Körper, wie z. B. Salpetersäure, kohlensaures Ammoniumoxyd, welche sich freilich spärlich in der Luft vorfinden, zum Theil aber fein vertheilte, durch Luftströmungen schwebend erhaltene Bruchstücke verschiedener Bestandtheile der festen Erdrinde, endlich auch Organismen oder Keime derselben, welche in der Luft schweben und von dem Wasser mechanisch mitgenommen werden. So bedeutend die Gesammtmenge der genannten Stoffe sein mag, die binnen Jahresfrist in der angedeuteten Weise gezwungen werden, zur festen Erdoberfläche zurückzukehren, so erscheint doch der Gehalt des Regen- und Schneewassers an diesen fremdartigen Bestandtheilen höchst gering und läßt sich nicht vergleichen mit jener colossalen Menge von festen Stoffen, welche das Wasser aufnimmt und zu Tage fördert, wenn ihm Gelegenheit geboten ist, durch unzählige, mehr oder minder weite Kanäle und Adern im Inneren der Erde längere oder kürzere Zeit zu strömen und auf seinem Wege feste Bestandtheile der Erde aufzulösen. Die Quellen, von denen wir eben sprechen, setzen demnach vermöge der Lösungsfähigkeit des Wassers gegenüber von vielen Stoffen, mit welchen es in Berührung kommt, eine Menge Körper in Bewegung und führen sie zum größten Theil auf die Erdoberfläche, wo das Quellwasser häufig mit anderem von verschiedener Beschaffenheit zusammentrifft, wodurch chemische Wechselwirkungen eingeleitet werden, die zur Neubildung verschiedener Stoffe Veranlassung geben. Wir können das Wasser auf seinen unterirdischen Wegen nicht genau verfolgen und vermögen in den meisten Fällen nicht zu bestimmen, wo das Wasser die gelösten Bestandtheile aufgenommen, wie lange es mit ihnen in Berührung gewesen und welche Temperatur bei der Einwirkung des Wassers auf die zu lösenden Substanzen mit thätig gewesen ist. Doch läßt sich im Allgemeinen mit Zuverlässigkeit behaupten, daß die Bestandtheile des Quellwassers von der Dauer der Berührung mit dem Wasser und der Natur der

festen Stoffe abhängt, welche dem Wasser dargeboten wurden. In allen Fällen kann man aber eine wesentliche und wichtige Mitwirkung bei diesen Vorgängen der so allverbreiteten Kohlensäure nicht absprechen. Wie wir schon bei Erwähnung der Gasströme erörterten, dringt an sehr vielen Stellen Kohlensäure aus dem Erdinnern hervor. Sie begegnet dem Quellwasser und wird unter Vermittelung des höheren Druckes, der in der Tiefe herrscht, reichlicher vom Wasser absorbirt, als dieses bei dem gewöhnlichen Atmosphärendruck stattfindet. So sehr nun die Kohlensäure unter die schwächsten Säuren gerechnet werden muß, so mächtig gestalten sich ihre Wirkungen, sobald sie im gelösten Zustande mit verschiedenen Substanzen in Berührung kommt, aus denen vorwiegend die feste Erdrinde zusammengesetzt ist. Unter Vermittelung der Kohlensäure kann z. B. der dichteste Marmor, der im reinen Wasser völlig unlöslich erscheint, in Lösung geführt werden, wenn die Menge des Wassers und sein Gehalt an Kohlensäure dieser Aufgabe entsprechen. Der Erfolg beruht hier zumeist auf der Bildung von zweifach kohlensauren Salzen, die häufig im Wasser löslich sind, während die neutralen diese Eigenschaften nicht zeigen. Fassen wir die diesfällige Wirkung des Wassers in einem kurzen Bilde zusammen, so besteht es in der Aufnahme der an sich im Wasser löslichen Substanzen und Bildung von löslichen aus unlöslichen, unter Vermittelung der Kohlensäure; beide werden vom Wasser gemeinschaftlich weiter geführt. Die gewöhnlichen Quellwässer enthalten von diesen vorläufig im Allgemeinen angedeuteten Bestandtheilen verhältnißmäßig sehr wenig, so daß das Wasser durchschnittlich in 10,000 Gewichtstheilen nur 1 Theil solcher fester Bestandtheile darbietet. Wo aber die Umstände eine reichlichere Aufnahme begünstigen, steigert sich der Gehalt an den erwähnten Stoffen oft sehr bedeutend, und kann sich für 10,000 Theile Wasser bis auf 70 oder mehr Theile fester Stoffe erheben. In diesen Fällen nennt man die Quellen Mineralwässer. Sie sind für den gewöhnlichen Gebrauch nicht geeignet, da sie eben zu viel fremde Stoffe aufgenommen haben, werden dagegen häufig als Heilmittel verwendet und bieten, je nach ihren vorwaltenden Bestandtheilen, namhafte Verschiedenheiten dar. So kennt man die alkalischen Säuerlinge als Quellen, in welchen sich besonders reichlich Kohlensäure findet, daher sie perlen und beim Schütteln lebhaft schäumen. Sie enthalten als zweiten characteristischen Bestandtheil reichlich zweifach kohlensaures Natron. Andere gleichfalls an Kohlensäure reiche Quellen enthalten zweifach kohlensaures Eisenoxydul in merklicher Menge, welches die sogenannten Stahlbrunnen characterisirt. Nicht selten nimmt das Wasser auf seinem Wege Schwefelwasserstoff auf und tritt dann als sogenannte Schwefelquelle zu Tage. Quellen, welche reichlich Bittersalze enthalten, heißen Bitterwasser. Endlich müssen wir noch einer eigenthümlichen Art von Mineralquellen Erwähnung thun, welche sich von den bis jetzt besprochenen durch einen hohen Gehalt an Kochsalz auszeichnen. Ueber den Ursprung des letzteren können wir nicht in Zweifel sein. Das Kochsalz stammt aus in der Tiefe vorfindlichen Steinsalzlagern, durch welche das Wasser dringt, und dabei von dem Salze mehr oder weniger auflöst. Solche Quellen werden natürliche Soolen genannt. Sie erscheinen im Allgemeinen weit reicher an gelösten Bestandtheilen, als die eigentlichen Mineralwässer, dienen nebenbei wohl für Heilzwecke, hauptsächlich aber zur Gewinnung von Kochsalz. Die Menge des letzteren beträgt in manchen Soolen 12—15 %.

Mineralwässer.

Wenn wir die normalen Bestandtheile der Quellen mit jenen der Mineralwasser vergleichen, so ergiebt sich, daß mit Ausnahme gewisser seltener und auch in den Mineralquellen nur spärlich auftretender Stoffe die Qualität der Bestandtheile so ziemlich dieselbe ist; nur die Menge veranlaßt hier den Unterschied, so wie die bei den Mineralquellen greller hervortretende Mannigfaltigkeit hinsichtlich des Vorherrschens gewisser Bestandtheile.

Eintheilung der Metalle.

Ueber diese wollen wir uns in dem Folgenden näher aussprechen und bei diesem Anlasse einige wichtige Elemente kennen lernen, welche theils unter die Metalloide, theils unter die Metalle gehören. Was die letzteren anlangt, so verdient hervorgehoben zu werden, daß man die Metalle in zwei Gruppen einzutheilen pflegt, deren eine den Namen leichte Metalle, die andere den Namen schwere Metalle führt. Die leichten Metalle unterscheiden sich von den schweren durch ihr namhaft geringeres spec. Gewicht. Ein zweites, gleichfalls auf die Gewichtsverhältnisse basirtes charakteristisches Merkmal der leichten Metalle liegt in dem Umstande, daß die Oxyde der leichten Metalle ein höheres spec. Gewicht haben, als die Metalle selbst, während bei den schweren Metallen das Gegentheil stattfindet. Doch sind dies keineswegs die einzigen Unterschiede, welche sich hervorheben lassen. Ein sehr wichtiges Merkmal der leichten Metalle liegt in der im Allgemeinen sehr mächtigen Verwandtschaft, welche diese Metalle zu Sauerstoff und verwandten Elementen äußern. Die leichten Metalle binden mit großer Begierde den Sauerstoff oder halten ihn wenigstens als Oxyde so innig fest, daß die Zersetzung derselben nur unter Anwendung der mächtigsten Reductionsmittel herbeigeführt werden kann. Dieser Umstand bedingt, daß die Metalle dieser Gruppe vielen Oxyden den Sauerstoff zu entziehen vermögen und so selbst als mächtige Reductionsmittel zu wirken im Stande sind. Die meisten leichten Metalle zersetzen schon das Wasser in gewöhnlicher Temperatur, entwickeln daraus Wasserstoff und verwandeln sich in Oxydhydrate. Diese letzteren sind in der Regel sehr kräftige Basen und viele derselben scheiden, mit Salzen der schweren Metalle zusammengebracht, die Oxyde der letzteren ab und treten an ihre Stelle. Die meisten leichten Metalle sind zinn- bis silberweiß, weich und einige derselben leicht flüchtig. Wie aus dieser Schilderung sich im Vorhinein entnehmen läßt, findet man dieselben nie unverbunden in der Natur, und da manche derselben reichlich und sehr verbreitet vorkommen und ihre wichtigsten Verbindungen im Wasser löslich oder unter den oben angedeuteten Verhältnissen in lösliche Verbindungen überführbar sind, so bilden sie wichtige und characteristische Bestandtheile des natürlichen Wassers. Sie treten darin theils in Gestalt von Sauerstoffsalzen, theils in Verbindung mit gewissen Metalloiden auf, welche den Namen Haloide, Salzbildner führen, und die wir im Folgenden auch noch näher kennen lernen werden. Von den leichten Metallen, die wir in mannigfaltigen Verbindungen im Wasser antreffen, sind hervorzuheben: Kalium, Natrium, Lithium, Calcium und Magnesium. Ein anderes, für die natürlichen chemischen Processe höchst wichtiges leichtes Metall, das Aluminium, findet sich allerdings auch in vielen Quellwässern vor, wird aber sehr spärlich angetroffen, während sein Oxyd einen vorwiegenden Antheil an der Zusammensetzung der festen Erdrinde nimmt; wir wollen demselben daher auch bei Besprechung der letzteren unsere Aufmerksamkeit widmen. Unter den schweren Metallen sind es nur zwei, das Eisen und Mangan, die, aber immer nur in höchst geringen Mengen, mit Ausnahme der Stahlquellen, in Gestalt von zweifach kohlen-

sauren Salzen im Wasser auftreten und deren Besprechung wir füglich auch verschieben können.

Bisher war von dem Meerwasser noch nicht näher die Rede. Auch dieses führt eine größere Anzahl von löslichen Mineralstoffen, unter welchen das Kochsalz vorherrscht, das man auch in wärmeren Gegenden durch Verdampfen des Meerwassers in sehr großen flachen Bassins gewinnt, mit sich. Die Zusammensetzung des Meerwassers ist nicht an allen Stellen gleich, durchschnittlich enthält es 2,46 % Kochsalz und im Ganzen höchstens 5 % fester gelöster Bestandtheile, zuweilen aber merklich weniger bis zu 3,2 %. Neben dem Kochsalz, aber in weit geringerer Menge, trifft man darin Chlorkalium, KCl, Chlorcalcium, CaCl, Brommagnesium, MgBr, Chlormagnesium, MgCl, schwefelsauren Kalk, CaO,SO_3, schwefelsaure Bittererde, MgO,SO_3, kohlensauren Kalk, CaO,CO_2, kohlensaure Bittererde, MgO,CO_2, Spuren von Jodmetallen, schwefelsaurem Kali, Eisenoxydul, freier Kohlensäure, durch deren Vermittelung der kohlensaure Kalk und kohlensaure Bittererde in Lösung erhalten werden, und endlich organische, nicht näher bekannte Stoffe in geringer Menge, welche offenbar von den im Meere lebenden Organismen herrühren; endlich hat man, obwohl nur in höchst geringer Menge, Blei, Kupfer und Silber im Meerwasser aufgefunden, welche höchst wahrscheinlich gleichfalls in Gestalt von Chlorverbindungen vorhanden sind. Wenn wir nun noch hervorheben, daß das so allverbreitete und wichtige Kochsalz eine Verbindung von Chlor mit Natrium ist (NaCl), so tritt uns als bezeichnendes Merkmal des Meerwassers und der Salzsoole entgegen, daß diese vorwiegend Chlorverbindungen enthalten. Wir wollen deshalb das Chlor, welches zugleich eines der merkwürdigsten und wichtigsten Metalloide ist, zunächst betrachten. Meerwasser.

Chlor

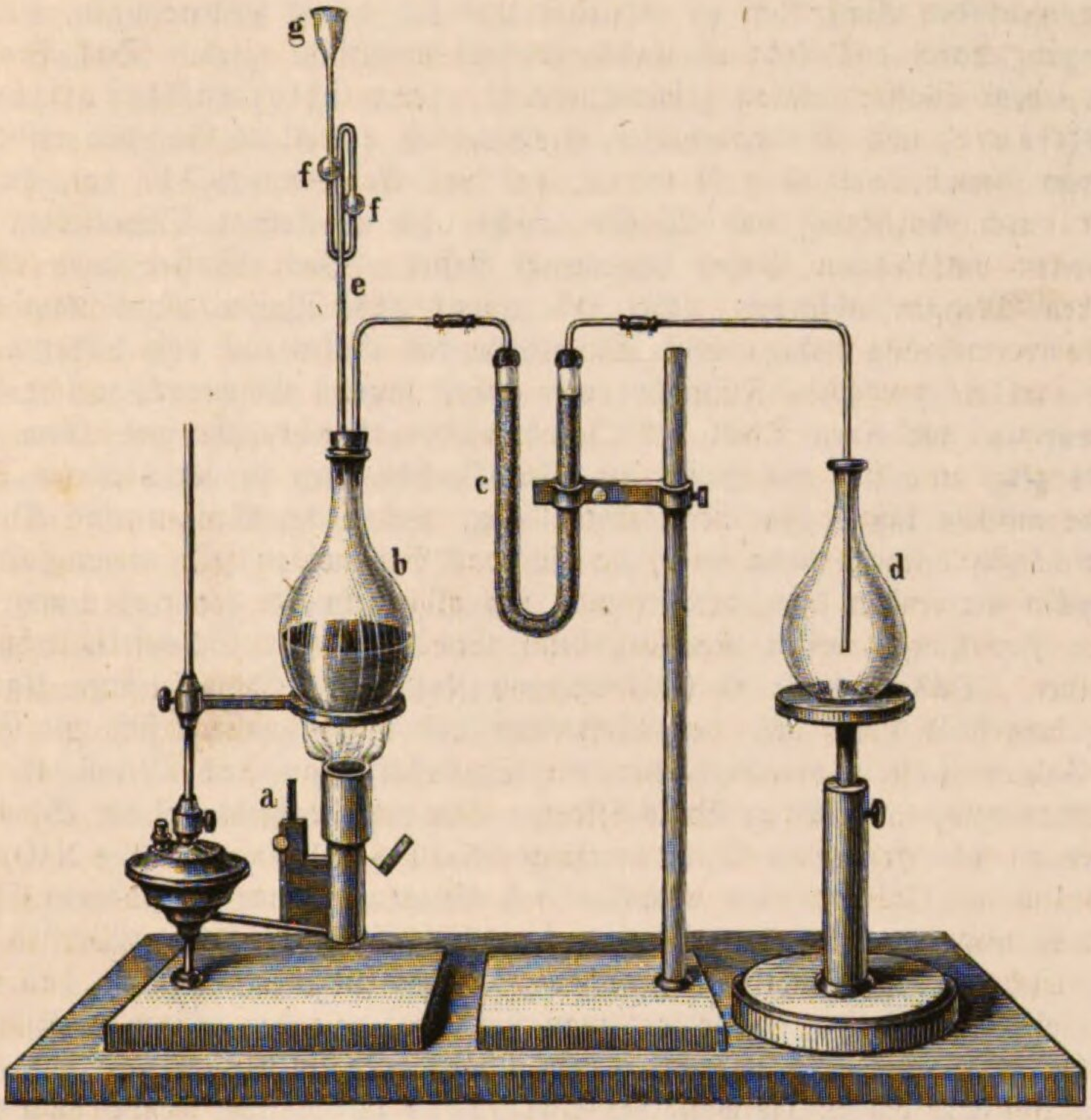
zeigt in seinem chemischen Verhalten die größte Aehnlichkeit mit Brom und Jod. Diese drei Elemente kommen nie unverbunden in der Natur vor, sondern treten nur mit Metallen vereinigt auf. Sie finden sich fast immer gemeinschaftlich; während aber das Chlor in großen Massen vorkömmt, ist die Menge des Broms und Jods verschwindend klein zu nennen, und man hat diese Elemente nur in den Mutterlaugen, die beim Eindampfen des Meerwassers oder der Salzsoolen, auch gewisser Mineralwässer, erhalten werden, aufzufinden vermocht. Wenn nämlich behufs der Gewinnung von Kochsalz oder der chemischen Untersuchung der Mineralwässer diese salzreichen Flüssigkeiten eingedampft werden, so scheiden sich die minder löslichen Bestandtheile vorerst ab und können durch fortgesetztes Verdunsten des Wassers bis auf einen Rest, der in der Mutterlauge bleibt, gewonnen werden. Im Gegensatze zu dem Chlornatrium sind aber die dasselbe begleitenden Jod- und Bromverbindungen so leicht löslich, daß sie sich in der Mutterlauge aufhäufen und daraus das Brom und Jod auf passendem Wege abgeschieden werden kann, was bei Anwendung der ursprünglichen Flüssigkeit wegen allzugroßer Verdünnung ganz unmöglich wäre. Die natürlich vorkommenden Verbindungen dieser drei Elemente beschränken sich nahezu auf die leichten Metalle, und was insbesondere das Chlor anlangt, so trifft man das Chlornatrium nicht nur sehr verbreitet, sondern auch in ungeheueren Massen natürlich an, in geringerer Menge Chlorkalium und Chlormagnesium, spärlich

Chlorcalcium oder Verbindungen des Chlors mit Eisen, Kupfer und anderen schweren Metallen.

Das Chlor bildet ein coërcibles, gelbgrünes Gas von höchst unangenehmem erstickendem Geruch und einem spec. Gewicht von 2,44. Beim Einathmen wirkt es sehr schädlich und bringt leicht Bluthusten hervor. Von Wasser wird es zu zwei Raumtheilen desselben absorbirt und ertheilt demselben die ihm eigenthümliche Farbe. Das Chlorwasser, wie die Lösung genannt wird, scheidet bei 0^0 eine gelbe krystallinische Verbindung des Chlors mit Wasser, das Chlorhydrat, ab. Das Chlor wirkt auf viele gefärbte organische Substanzen rasch zerstörend ein und bleicht sie; auch zersetzt es faulende miasmatische Körper in der Weise, daß diese aufhören gesundheitsschädlich zu sein, und wird deshalb vielseitig angewendet, abgesehen von der mannigfaltigen Benutzung, welcher man dieses Element in den chemischen Laboratorien, behufs der Darstellung zahlreicher Verbindungen u. s. w. zuführt. Man stellt es allgemein durch Einwirkung von Braunstein auf Chlorwasserstoff (Salzsäure) dar. Der Braunstein ist Mangansuperoxyd. Sobald er mit wässerigem Chlorwasserstoff zusammen kömmt, bilden sich Manganchlorür, Wasser und freies Chlor. Statt den Chlorwasserstoff unmittelbar anzuwenden, mengt man häufig Schwefelsäure, Kochsalz und Braunstein und erwärmt in allen Fällen. Schwefelsäure und Kochsalz liefern, wie wir bald näher erörtern wollen, schwefelsaures Natriumoxyd und Chlorwasserstoff, welches nun seinerseits die schon bekannte Wirkung auf das Mangansuperoxyd äußert. Will man das Gas im trockenen Zustande sammeln, so kann man sich des pneumatischen Apparates füglich nicht bedienen, da als Sperrflüssigkeit weder Wasser noch Quecksilber anwendbar sind. Letzteres, weil es sich sogleich mit dem Chlor verbindet; ersteres, weil es das Gas feucht macht. Man pflegt deshalb das Gas geradezu auf den Boden eines entsprechenden, mit Luft gefüllten Gefäßes zu leiten, wo es allmälig die Luft wegen seiner größeren specifischen Schwere verdrängt und das Gefäß vollständig ausfüllt. Fig. 285 versinnlicht die Anordnung eines solchen Apparates. In dem Kolben b, dessen Erwärmung die Weingeistlampe a gestattet, befindet sich entweder Braunstein oder dieser mit Kochsalz gemengt. Durch den Velter'schen Trichter e kann man dann entweder flüssige Salzsäure oder verdünnte Schwefelsäure eintragen. Es entwickelt sich das Gas, welches in c durch Chlorcalcium getrocknet, dann in den Kolben d gelangt. Die Einrichtung des Sicherheitstrichters ist eben so einfach als sinnreich, indem wir mittelst desselben zunächst bei g, in beliebigen Zeitabschnitten, Flüssigkeit eintragen können, ohne den Apparat auseinander zu nehmen und ohne daß dabei eine Communication mit der äußeren Luft hergestellt würde, denn immer bleibt unter den beiden Glaskugeln f, in der Biegung des Rohres, etwas Flüssigkeit und sperrt so den Apparat an dieser Stelle ab. Wenn nun, was freilich in dem gegenwärtigen Falle nicht eintreten kann, die Gasentwickelung so stürmisch wird, daß das Gas bei dem ihm zugewiesenen Ausweg nicht mehr vollständig zu entweichen vermag, so hebt der dadurch bedingte Druck von Innen die Sperrflüssigkeit in die rechts befindliche Kugel und das Gas tritt ungehindert auch dort aus; sobald der Druck aber aufhört, sinkt die Sperrflüssigkeit wieder in die Röhre zurück. Dasselbe, nur im entgegengesetzten Sinne, findet statt, wenn, wie das häufig geschieht, das Gas im Inneren des Apparates zu rasch absorbirt wird und somit dort ein luftverdünnter Raum entsteht. Dann drückt von Außen die Luft die Sperr-

Darstellung des Chlors.

(Fig. 285.)



flüssigkeit in die links gestellte Kugel, dringt in das Gasentwickelungsgefäß und stellt dort das Gleichgewicht wieder her. Das Chlor ist mit sehr mächtigen Affinitäten ausgestattet, es verbindet sich fast mit allen Elementen direkt in gewöhnlicher Temperatur, besonders wenn Sonnenlicht es trifft, wobei es in einen dem Ozon entsprechenden Zustand erregter Verwandtschaft versetzt wird. Zu Sauerstoff äußert es weniger Verwandtschaft und läßt sich mit diesem eben so wenig, wie mit Kohlenstoff und Stickstoff, direkt vereinigen, während es sich mit Wasserstoff, Schwefel, Selen, Tellur rasch unmittelbar verbindet. Doch ist eine größere Reihe von Oxydationsstufen des Chlors bekannt und zwar: die unterchlorige Säure ClO, chlorige Säure ClO_3, Unterchlorsäure ClO_4, Chlorsäure ClO_5, Ueberchlorsäure ClO_7, und zudem noch Verbindungen von Chlorsäure und Ueberchlorsäure mit chloriger Säure. Alle diese Oxydationsstufen sind wenig beständig, zersetzen sich selbst in ihren Salzen beim Erhitzen sehr leicht, geben ihren Sauerstoff unmittelbar oder an andere Körper in vielen Fällen ab und explodiren dabei nicht selten. Sauerstoffverbindungen des Chlors.

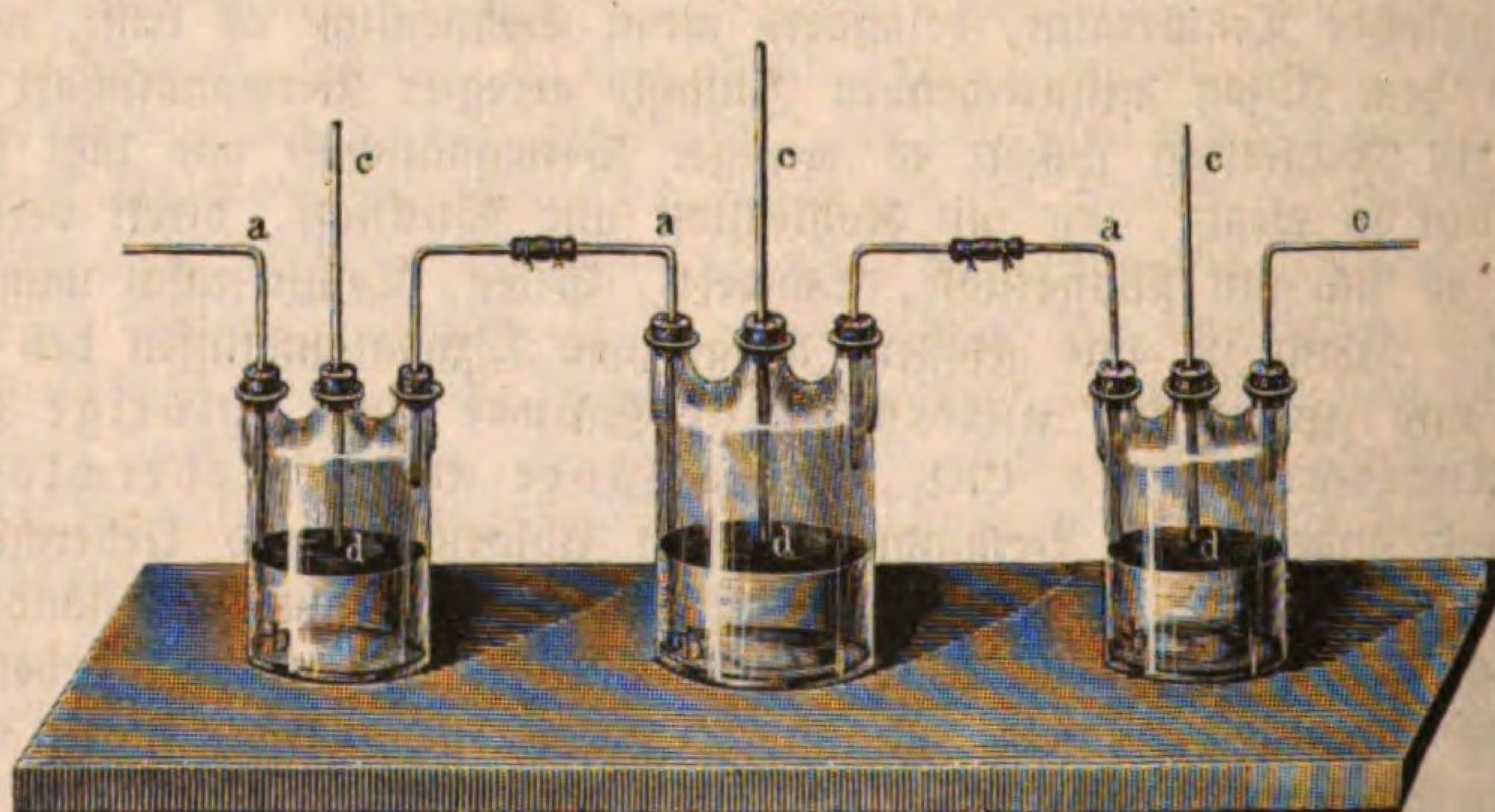
Zu Wasserstoff äußert Chlor eine sehr mächtige Affinität, welche besonders durch das Licht sehr gesteigert wird. Die beiden Körper zu gleichen Raumtheilen im Dunkeln zusammengebracht, wirken gar nicht auf einander, allein sobald das Gemenge ans Licht gelangt, tritt die Vereinigung mit einer heftigen Explosion ein; dasselbe findet unmittelbar statt, wenn das Chlor vorher dem Lichte ausgesetzt gewesen und hierauf im Dunkeln mit Chlorwasserstoff.

Wasserstoff in Berührung kommt. Zudem vermag das Chlor vielen Verbindungen den Wasserstoff zu entziehen und sich damit zu vereinigen, welcher Vorgang durch das Licht ebenfalls namhaft unterstützt wird. Das Product HCl, dem Wasser analog zusammengesetzt, heißt Chlorwasserstoffsäure, Salzsäure, und ist ein farbloses, irrespirables, coërcibles Gas von erstickend saurem Geruch, welches nicht brennt, ein spec. Gew. von 1,247 hat, an der Luft durch Anziehung von Wasser raucht und in kleinen Quantitäten sich zuweilen vulkanischen Gasen beigemengt findet. Vom Wasser wird es in großen Mengen absorbirt. Bei 0^0 nimmt das Wasser unter namhafter Volumvermehrung nahezu 480 Raumtheile des Gases auf und bildet damit eine farblose rauchende Flüssigkeit von ätzend saurem Geschmack, welche beim Erwärmen nur einen Theil des Gases wieder abgiebt, ein spec. Gew. von 1,21 zeigt und sich mit Wasser in allen Verhältnissen zu verdünnterer Salzsäure mischen läßt. Zu ihrer Darstellung, welche im Großen und Kleinen sehr häufig vorgenommen wird, da sich das Product zu sehr mannigfaltigen Zwecken verwenden läßt, bedient man sich allgemein der schon oben angedeuteten Zersetzung, welche Kochsalz beim Erwärmen mit Schwefelsäurehydrat erleidet. Das Kochsalz ist Chlornatrium NaCl, mit Schwefelsäure legt es sich dergestalt um, daß der Wasserstoff des Hydratwassers sich mit Chlor zu Chlorwasserstoff vereinigt und der Sauerstoff, an das Metall tretend, Natriumoxyd, eine kräftige Basis bildet, welche sich ihrerseits mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Salz vereinigt: $NaCl + HO,SO_3 = HCl + NaO,SO_3$. Aehnlich wie Chlornatrium verhalten sich übrigens die meisten anderen Chlormetalle und man zieht das Kochsalz hauptsächlich seines billigen Preises und der leichten Zugänglichkeit wegen den übrigen vor. Will man das Gas als solches darstellen, so bedient man sich eines mit den obigen Substanzen beschickten Glaskolbens und fängt das Gas über Quecksilber auf.

Darstellung der Salzsäure.

Um aber die flüssige wässerige Salzsäure zu erhalten, wendet man einen Apparat an, welcher unter dem Namen Woulf'sche Flaschen in ähnlichen Fällen eine vielseitige Anwendung findet und dessen Einrichtung aus Fig. 286

(Fig. 286.)



hervorgeht. Die dreihälsigen Flaschen b, von denen man nach Bedarf eine beliebige Anzahl zusammen stellen kann, sind durch die knieförmig gebogenen Röhren a mit einander luftdicht verbunden. Diese Röhren reichen in der ersten Flasche nur in den Hals, in den folgenden bis nahe an den Boden. Der mittlere Hals nimmt ein Sicherheitsrohr c auf, welches nur wenig

unter der Oberfläche der absorbirenden Flüssigkeit eingetaucht ist und ähnlich wie der Velter'sche Sicherheitstrichter wirkt, indem, wenn durch zu reichliche Gasentwickelung ein Druck von Innen nach Außen stattfindet, die absorbirende Flüssigkeit, in unserem Falle Wasser, in den Röhren steigt und falls im Gegentheile durch zu reichliche Absorption ein Druck von Außen nach Innen stattfindet, bei d leicht Luft in den Apparat treten kann. Denken wir uns nun das Rohr a der ersten links gestellten Flasche mit einer Retorte verbunden, aus welcher durch Erwärmen von Schwefelsäure mit Kochsalz reichlich Chlorwasserstoffgas entwickelt wird, so strömt dieses bei b in das Wasser und wird dort absorbirt. Der etwa nicht absorbirte Antheil gelangt durch a in die zweite Flasche und so fort, so daß auf diese Weise eine vollständige Absorption des Gases erzielt werden kann. Die letzte Flasche communicirt natürlich ungehindert durch o mit der Luft. Bei der Bereitung der Salzsäure im Großen sind ganz ähnliche Vorrichtungen aus Steinzeug im Gebrauche (siehe oben Fig. 277), nur pflegt man die Verbindungsröhren, um einen größeren Druck im Apparate zu vermeiden, nicht unter Wasser tauchen zu lassen und dagegen die Zahl der Woulf'schen Flaschen ansehnlich zu vermehren, wobei die Absorption dennoch ziemlich vollständig vor sich geht. Zur Zersetzung des Kochsalzes dient dann auch sehr häufig ein eiserner Cylinder, wie bei der Darstellung der Salpetersäure.

Im Chlorwasserstoff begegnen wir zuerst einem Körper, der entschieden den Character einer **Säure** an sich trägt, ohne Sauerstoff oder ein anderes amphigenes Element zu enthalten. Beobachten wir sein Verhalten gegen Basen, so sehen wir zunächst, wie die Säure sich mit diesen eigentlich nicht verbindet, sondern zerlegt, indem sich Wasser bildet, das abgeschieden wird, während das Chlor an die Stelle des Sauerstoffs tritt, was sich, wenn man für das basische Oxyd allgemein die Formel MO annimmt, durch das Schema: $MO + HCl = HO + MCl$ versinnlichen läßt, weshalb auch gerade, wie bei der Bildung eines Sauerstoffsalzes mit einem Säurehydrat, Wasser auftritt, welches hier aber erst entsteht, während es dort nur abgeschieden, von dem basischen Oxyd gleichsam verdrängt wird. Das Product dieser Umsetzung ist demnach ein Chlormetall, welches sich in allen Fällen auch leicht durch directe Vereinigung beider Elemente herstellen läßt, da das Chlor eine sehr große Verwandtschaft zu den Metallen besitzt. Die Chlormetalle bilden sich auch immer, wenn man Salzsäure mit den Metallen in Berührung bringt, falls diese die Fähigkeit besitzen, bei Gegenwart von Sauerstoffsäuren Wasser zu zerlegen, um sich als Oxyde mit den Säuren zu Salzen zu vereinigen, wie dieß Eisen, Mangan, Zink und viele andere thun. In beiden Fällen entwickelt sich dann Wasserstoff. Die Wasserstoff-Säuren.

Die in einer oder der anderen Weise entstandenen **Chlorverbindungen** sind aber in den meisten Beziehungen den Sauerstoffsalzen der Metalloxyde so ähnlich, daß sich durch das äußere Aussehen kein deutlicher Unterschied feststellen läßt, weshalb man das Chlor und einige andere Elemente, die sich ihm ähnlich verhalten, als **Salzbildner**, **Halogene** (Haloide), bezeichnet, und die salzartigen Verbindungen derselben mit den Metallen, zum Unterschiede von den Sauerstoffsalzen und anderen analogen Körpern (Sulfosalzen 2c.), wo sich Säuren und Basen in der Verbindung als vorhanden annehmen lassen, **Haloidsalze** nennt. Haloidsalze.

So groß im Uebrigen die Aehnlichkeit des chemischen Verhaltens bei den Haloiden im Vergleiche mit Sauerstoff ist, so sind diese doch nicht im

Stande, Säuren oder Basen hervorzubringen, welche in ihrer Zusammensetzungsweise an die betreffenden Sauerstoffverbindungen erinnern, eben so wenig Salze, die etwa gleich den Sauerstoffsalzen in Säure und Basis einen gemeinschaftlichen Bestandtheil auswiesen. So können wir allerdings das Chlor mit Kohlenstoff zu einer Verbindung vereinigen, die genau in ihrer Zusammensetzung der Kohlensäure entspricht, und somit die Formel $CCl_2(CO_2)$ hat. Allein während die Kohlensäure sich mit den basischen Metalloxyden leicht vereinigen läßt, liefert das Kohlenstoffchlorid mit den entsprechenden Chlormetallen keine Verbindung. Es ist überhaupt ganz indifferent. Ebenso verhalten sich die Verbindungen des Chlors mit Phosphor, Schwefel, Selen und anderen Elementen, welche mit Sauerstoff Säuren hervorbringen. Die Chloride derselben sind nicht im Stande, sich mit den Chlormetallen zu vereinigen.

Eine andere Eigenthümlichkeit, welcher wir bei den Haloiden, insbesondere aber beim Chlor begegnen, ist die Fähigkeit, aus vielen Wasserstoffverbindungen dieses Element, unter Bildung von Chlorwasserstoff, ganz oder theilweise abzuscheiden und zugleich an die Stelle desselben zu treten, so, daß die ursprüngliche Atomengruppe eigentlich unverändert bleibt, indem sich Chlor statt dem Wasserstoff eingelagert hat. Wir nennen diese Erscheinung Substitution, und beobachten sie namentlich bei Einwirkung des Chlors auf organische Körper, doch unterliegen derselben auch nicht selten Substanzen von sehr einfacher Zusammensetzungsweise, welche dabei die Entstehung von Verbindungen des Chlors mit Elementen veranlassen, die sich direct durchaus nicht mit dem Chlor vereinigen.

Substitution.

Chlorstickstoff.

So kann man den Chlorstickstoff NCl_3 durch anhaltende Einwirkung auf im Wasser gelöstes Chlorammonium erhalten. Letztere Verbindung hat die Formel: NH_4Cl, und läßt sich zusammengesetzt betrachten aus 1 Atom Ammoniak, NH_3, und 1 Atom Chlorwasserstoff. Wenn nun 6 Atome Chlor hinzutreten, entstehen 4 Atome Chlorwasserstoff und 1 Atom Chlorstickstoff, der sich bezeichnen läßt als Ammoniak, dessen Wasserstoff durch Chlor substituirt wurde. Der Chlorstickstoff bildet eine ölartige, sehr scharf riechende, dunkelgelbe Flüssigkeit, welche bei der geringsten Erschütterung, sowie durch Berührung mit Phosphor, flüchtigen und fetten Oelen und vielen anderen Substanzen, sehr heftig explodirt und deren Handhabung deswegen ungemein gefährlich ist.

Chlorkohlenstoff.

In ähnlicher Weise entstehen Verbindungen des Chlors mit Kohlenstoff. Wenn Chlor allmälig zu Grubengas tritt, so wird der Wasserstoff desselben verdrängt, durch Chlor ersetzt, und es bildet sich zweifach Chlorkohlenstoff, C_2Cl_4, eine farblose bewegliche Flüssigkeit von aromatischem Geruch. Leitet man seine Dämpfe durch eine glühende Röhre, so giebt er zunächst Chlor ab und verwandelt sich in einfach Chlorkohlenstoff, CCl, eine ebenfalls flüchtige, ölartige Flüssigkeit, die bei stärkerem Erhitzen weiterhin Chlor abgiebt und halb Chlorkohlenstoff, C_2Cl, liefert, welcher seidenglänzende, farblose, eigenthümlich riechende Nadeln vorstellt und dessen Dämpfe in heftiger Glühhitze vollständig in Kohlenstoff und Chlor zerfallen. Zudem kennt man noch den anderthalb Chlorkohlenstoff, C_2Cl_3, über dessen Entstehung wir später Näheres mittheilen wollen. Er bildet einen starren, farblosen Körper, der bei 182° unter vorhergehendem Schmelzen sich verflüchtigt und einen kampferähnlichen Geruch besitzt.

Um das Bild des Characters von Chlor und ähnlichen Körpern zu vollenden, muß noch angeführt werden, daß es nicht selten in gewissen

Sauerstoffverbindungen den Sauerstoff theilweise ersetzt, so, daß die Anordnung der Atome in der Gruppe gewissermaßen dieselbe bleibt, während ein Theil des Sauerstoffs durch Chlor vertreten ist. Gleichwie z. B. die Kohlensäure durch Verbindung von Kohlenoxyd mit Sauerstoff entstehen kann, verbindet sich ersteres auch direct mit Chlor und erzeugt so das Chlorkohlenoxyd, ein farbloses, höchst durchdringend riechendes Gas, dessen Zusammensetzung der Formel: COCl entspricht, also den Typus der Kohlensäure nachahmt, nur ist die Hälfte des Sauerstoffs durch Chlor vertreten. Schweflige Säure, welche unter gewissen Umständen direct 1 Atom Sauerstoff aufnimmt und so in Schwefelsäure übergeht, verbindet sich auch unmittelbar mit 1 Atom Chlor und liefert so die Chlorschwefelsäure, SO_2Cl, eine erstickend riechende, farblose, flüchtige Flüssigkeit.

Mischt man Salpetersäure mit Salzsäure, so erhält man eine Flüssigkeit, die unter dem Namen Königswasser zur Auflösung von Metallen dient, welche den beiden Bestandtheilen des Gemenges für sich vollkommen widerstehen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in dem Vorhandensein von freiem Chlor, welches durch Einwirkung des Sauerstoffs der Salpetersäure auf den Wasserstoff der Salzsäure abgeschieden, sich mit den Metallen direct vereinigt, und diese in lösliche Chlorverbindungen überführt. Einen Theil des Chlors findet man aber im Königswasser in Gestalt von sehr flüchtigen, rothbraunen Flüssigkeiten, wovon die eine Chloruntersalpetersäure ist, NO_2Cl_2, und die zweite chlorsalpetrige Säure, NO_2Cl, und welche somit der eben besprochenen Klasse von Verbindungen angehören, von denen wir noch später einige wichtigere Beispiele zu erwähnen haben werden. Königswasser.

Brom.

Brom trägt ganz den Charakter des Chlors an sich, so daß die chemische Beschreibung dieses Elementes nahezu vollständig mit der des Chlors zusammenfällt. Es bildet eine dunkelrothbraune Flüssigkeit von sehr üblem Geruche, die bei 63⁰ siedet, bei —19⁰ zu einer spröden, braunen, krystallinisch-blätterigen Masse erstarrt, deren Dämpfe braunroth gefärbt sind und vom Wasser ziemlich reichlich aufgenommen werden. Gleich dem Chlor liefert auch das Brom ein krystallisirtes Hydrat $Br + 10HO$. Von Sauerstoffverbindungen dieses Elementes kennt man nur die Bromsäure BrO_5, welche in allen Stücken der Chlorsäure gleicht. Ebenso entspricht die Bromwasserstoffsäure HBr der Salzsäure.

Jod

bildet in gewöhnlicher Temperatur eine feste, graue, metallglänzende Masse, von scharfem eigenthümlichem Geruch, die bei 107⁰ schmilzt und bei 180⁰ sich in dunkelviolettrothe Dämpfe verwandelt, bei deren Condensation zuweilen das Jod in deutlicheren Krystallen des ein- und einaxigen Systems erhalten wird. Auch das Jod steht in den meisten Beziehungen dem Chlor ganz nahe, ist aber mit weit geringeren Affinitäten als dieses ausgestattet. So kann man direct Jod mit Wasserstoff nicht vereinigen, auch vermag das Jod nicht, den Wasserstoff anderen Verbindungen zu entziehen, läßt sich dagegen durch verschiedene Oxydationsmittel, namentlich Salpetersäure, in Jodsäure überführen, welche nach der Formel JO_5 zusammengesetzt ist und eine farblose krystallinische Substanz bildet, die in stärkerer Wärme schmilzt und endlich in Jod und Sauerstoff zerfällt. Auch eine Ueberjodsäure JO_7

ist bekannt, sowie endlich Unterjodsäure JO_4. Jodwasserstoff gleicht nahezu in allen Beziehungen dem Chlorwasserstoff, nur ist dieser Körper viel zerleglicher und giebt sogar an den Sauerstoff der Luft unter Abscheidung von Jod den Wasserstoff ab. Mit Brom und Chlor verbindet sich Jod direct.

Fluor.

Den eben besprochenen drei Haloiden schließt sich ein ganz eigenthümliches Element an, welches in seinen Verbindungen sehr große Aehnlichkeit mit jenen des Chlors zeigt. Es ist im isolirten Zustande bis jetzt nicht mit Sicherheit bekannt. Man hat zwar bei verschiedenen Versuchen, es aus seinen Verbindungen abzuscheiden, gasförmige Körper erhalten, von denen einer oder der andere vielleicht unverbundenes Fluor war, ohne daß es möglich gewesen wäre, die Richtigkeit dieser Voraussetzung zu beweisen. Die Ursache dieses Mißlingens liegt in der mächtigen Verwandtschaft, welche das Fluor zu allen positiven Elementen zeigt, so daß die gewöhnlichen Materialien, aus welchen man chemische Geräthe anzufertigen pflegt, dadurch angegriffen werden, und andererseits die Mittel, das Fluor abzutrennen, sich als wirkungslos erwiesen. Das Fluor ist ziemlich verbreitet in der Natur, seine Verbindungen treten aber nicht in großen Massen auf. Am reichlichsten findet sich der Flußspath, welcher Fluorcalcium ist CaFl. Im reineren Zustande ist dieses Mineral die einzige Verbindung des Fluors, welche uns die Natur darbietet, welche zur Darstellung anderer Fluorverbindungen benutzt werden kann. Mit Sauerstoff hat man das Fluor bis jetzt nicht zu vereinigen vermocht. Wir sind über den chemischen Charakter dieses Elementes noch nicht völlig aufgeklärt, doch deutet vieles darauf hin, daß es im Wesentlichen den vorhergehenden Haloiden am nächsten steht. Die interessanteste Verbindung des Fluors ist die Fluorwasserstoffsäure,

Flußsäure. Flußsäure HFl, ein farbloses, coërcibles Gas, welches erstickend sauer riecht, an der Luft raucht, die Respirationsorgane heftig angreift und vom Wasser reichlich absorbirt wird. Wie die Formel zeigt, entspricht es hinsichtlich seiner Zusammensetzung der Salzsäure, hat aber die Fähigkeit, sich nahezu mit allen Metallen unter Entwickelung von Wasserstoff zu zersetzen und Fluormetalle hervorzubringen, welche im Allgemeinen Aussehen und Charakter der Haloidsalze zeigen. Nur Platin, Gold und bis zu einem gewissen Grade Blei widerstehen der Einwirkung der Flußsäure, weßhalb bei ihrer Darstellung oder Aufbewahrung bloß Metalle der genannten Art zur Anwendung kommen dürfen. Glas wird von wässeriger Flußsäure ebenfalls gelöst, indem diese die Eigenschaft besitzt, mit der Kieselsäure des Glases, welche sich, gegenüber allen übrigen Säuren, fast ganz indifferent verhält, unter Wasserbildung sich in Fluorsilicium umzulegen, welches in wässeriger Flußsäure löslich ist, weßhalb man die Flußsäure auch häufig zum Aetzen auf Glas benutzt. Zur Darstellung der Flußsäure erwärmt man gepulverten reinen Flußspath mit Schwefelsäurehydrat in einer Retorte aus Blei oder Platin. Der Flußspath zerlegt sich dabei in ähnlichem Sinne wie das Chlornatrium bei Bereitung der Salzsäure: $SO_3,HO + CaFl = CaO,SO_3 + HFl$. Aus der Flußsäure lassen sich mittelst der entsprechenden Oxyde die übrigen bekannten Fluorverbindungen, Fluoride, leicht darstellen. Es ist übrigens keine einzige Verbindung bekannt, in welcher das Fluor als Radical auftreten würde.

Nachdem wir nun die Metalloide, deren Verbindungen wir im Wasser antreffen, kennen gelernt haben, wenden wir uns zu den Metallen, welche dieselben begleiten und die bereits oben namhaft gemacht wurden. Das Kalium, Natrium und Lithium liefern mit Sauerstoff die kräftigsten Basen, welche seit Langem den gemeinschaftlichen Namen Alkalien führen, weßhalb man die Gruppe dieser drei Metalle als jene der alkalischen Metalle bezeichnet. Die Alkalien sind sehr kräftige Basen, lösen sich leicht und reichlich im Wasser und liefern mit Kohlensäure so wie mit den meisten anderen Säuren leicht lösliche Salze, während die neutralen Salze der Kohlensäure mit allen übrigen Metalloxyden unlöslich sind. Metalle der Alkalien.

Die Flüchtigkeit des Kaliums und Natriums gestattet, diese Metalle unter dem reducirenden Einfluß von heißem Kohlenstoff durch eine Art Destillation zu gewinnen. Man mischt das kohlensaure Salz innig mit Kohle und unterwirft das Ganze in einer schmiedeeisernen Retorte der heftigsten Weißgluth. Die Kohlensäure und das Metalloxyd werden durch die Kohle reducirt, während sich Kohlenoxyd und Dämpfe von Kalium oder Natrium bilden, welche man in einer passenden Vorlage condensirt. Die Metalle müssen unter Steinöl aufbewahrt werden; letzteres besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff, wird von dem Kalium nicht zerlegt und schützt es vor dem Zutritt der Luft, deren Sauerstoff alsbald das Metall oxydiren würde. Bei den anderen leichten Metallen läßt sich der eben angedeutete Weg der Isolirung nicht einschlagen. Man hat dagegen zwei Mittel, um passende Verbindungen dieser Metalle zu reduciren. Das eine besteht in der Anwendung von Kalium oder Natrium, welche beide mit so mächtiger Affinität zu den negativen Elementen ausgestattet sind, daß, namentlich unter Vermittelung von Wärme, die anderen Metalle frei werden und das Kalium sich des Zünders bemächtigt. Hiezu eignen sich besonders gut die betreffenden Chlormetalle, welche, mit Kalium erhitzt, Chlorkalium liefern und das Metall abgeben. Eine nachherige Behandlung mit Wasser beseitigt das neu entstandene Chlormetall, während das durch diese Reduction abgeschiedene Metall zurückbleibt. Bei manchen leichten Metallen führt dieses Verfahren aber nicht zum Ziele, indem ihre Verbindungen der Einwirkung des Kaliums widerstehen oder das Metall sich mit dem Kalium zu einer Art Legirung vereinigt, aus welcher es sich nicht rein abscheiden läßt. Dann kann man die Zersetzung benutzen, welche die Haloidsalze der Metalle durch einen stärkeren electrischen Strom erleiden. Auch hier eignen sich die Chlormetalle am besten; man bringt sie zum Schmelzen und leitet einen galvanischen Strom hindurch, das Metall scheidet sich am negativen Pole ab, kann jedoch meistens nur in Gestalt von kleinen Kügelchen gesammelt werden. Dieser letztere Weg war es auch, welchen Davy einschlug, um die Verbindungen der leichten Metalle zu zerlegen und die letzteren kennen zu lernen. Zur Zeit, als dieser große Naturforscher diese wichtigen Versuche unternahm, war man über die Natur der Metalle im Allgemeinen längst im Klaren, ohne daß man die leichten Metalle gekannt hätte. Die große Aehnlichkeit, welche die Verbindungen derselben jedoch mit vielen Salzen der schweren Metalle darboten, führten auf die Vermuthung, daß auch in den ersteren metallische Radicale vorhanden seien, und Davy brachte durch Anwendung der Electrolyse die Abscheidung dieser Metalle zu Stande. Wir sind durch die Gewohnheit in die Lage versetzt, die Eigenschaften des Kaliums mit einer gewissen Gleichgiltigkeit zu betrachten; damals aber war das Erstaunen ungemein groß, im Darstellung der leichten Metalle.

Kalium

ein Metall zu finden, welches silberweiß, glänzend, in gewöhnlicher Temperatur weich und knetbar ist, bei 58° schmilzt, ein spec. Gewicht von 0,863 zeigt und in starker Hitze grüne Dämpfe liefert. An der Luft überzieht es sich rasch mit einer Oxydschicht, und erhitzt verbrennt es mit violettem Lichte. Das Wasser wird vom Kalium, welches darauf schwimmt, so heftig zersetzt, daß der sich rasch entwickelnde Wasserstoff sich entzündet und mit Kaliumdämpfen vermengt verbrennt. Die natürlichen Verbindungen des Kaliums sind ziemlich zahlreich und gleichzeitig sehr verbreitet. Abgesehen von dem schon erwähnten Chlorkalium, kohlensauren und schwefelsauren Kali, findet sich dieses hauptsächlich in Gestalt von kieselsauren Salzen und nimmt dann an der Zusammensetzung vieler verbreiteter und reichlich vorkommender Mineralien Antheil.

Kali. Das wichtigste Oxyd des Kaliums ist das **Kali**, KO, die kräftigste Basis, im Wasser als Hydrat, KO,HO, ungemein löslich und diesem eine sehr ätzende Beschaffenheit ertheilend (**Kalilauge**, **Aetzkali**). Aus der Lösung gewinnt man das feste Kalihydrat, durch Eindampfen und schließliches Schmelzen des Productes, als einen ölartig flüssigen, nach dem Erkalten weißen, faserig krystallinischen Körper, der an der Luft leicht zerfließt. Die mächtigen Verwandtschaftskräfte, welche das Kalihydrat gegenüber von vielen Körpern äußert, bedingen seine vielseitige Verwendung für wissenschaftliche und technische Zwecke.

Kalihydrat. Man bereitet es durch Einwirkung von Kalkhydrat auf im Wasser gelöstes kohlensaures Kali, wobei die beiden Körper ihre Bestandtheile austauschen und sich kohlensaurer Kalk und Kalihydrat bilden. Man läßt den kohlensauren Kalk in verschlossenen Flaschen absetzen und verwendet die überstehende Kalilauge entweder als solche, oder nach dem Eindampfen und schließlichem Schmelzen in silbernen Gefäßen, als festes Hydrat. Außer dem

Haloidsalze des Kaliums. Kali ist noch ein **Kaliumsuperoxyd**, KO_3, bekannt. Die Haloidsalze des Kaliums sind sämmtlich im Wasser löslich und krystallisiren in wasserfreien Würfeln. Das Chlorkalium ist die wichtigste dieser Verbindungen und hat

Schwefelkalium. viele Aehnlichkeit mit dem Kochsalz. Die Schweflungsstufen des Kaliums, welche schon Seite 466 aufgezählt wurden, sind sämmtlich im Wasser löslich, bilden mit Ausnahme des einfach Schwefelkaliums damit gelbe Flüssigkeiten, welche nach Schwefelwasserstoff riechen, und sind im starren Zustande rothbraun bis leberbraun. Die sogenannte **Schwefelleber** der Officinen wird durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kali mit gepulvertem Schwefel erhalten, wobei die Kohlensäure entweicht und ein Gemenge von **mehrfach Schwefelkalium** mit **schwefelsaurem Kali** zurück bleibt.

Kohlensaures Kali. Von den Sauerstoffsalzen des Kali's ist vor allen das **kohlensaure Kali** zu erwähnen; das neutrale Salz: KO,CO_2 trifft man nur in geringer Menge in manchen Kalksteinen und Mineralwässern. In der Asche der Landpflanzen dagegen tritt es reichlich auf und zwar gemengt mit schwefelsaurem Kali, Chlorkalium, Chlornatrium, kohlensaurem Kalk, Bittererde, kieselsauren Salzen und Eisen- sowie häufig Manganoxyd. Ueber die Bedeutung dieser unorganischen Stoffe wollen wir uns später aussprechen und hier nur anführen, daß die in der Asche als kohlensaure Salze vorfindlichen Basen keineswegs in dieser Gestalt in den Pflanzen vorhanden gewesen, sondern als Salze organischer Säuren, die beim Verbrennen gleichfalls zersetzt, einen Theil ihres Kohlenstoffs, als Kohlensäure an die Base gebunden, zurückgelassen

haben. Man sammelt nun die Asche, laugt sie in mit durchbrochenem, doppelten Boden versehenen Fässern, den Aeschern, mit Wasser aus und dampft die so gewonnene Lösung in eisernen Kesseln bis zur Trockne ein, um das rohe Product schließlich in einem Ofen zur schwachen Glühhitze zu bringen, so die letzten Antheile von anhängenden organischen Stoffen wegzubrennen und den Rückstand völlig vom Wasser zu befreien, welche Operation das Calciniren heißt. Das Product ist die Pottasche des Verkehrs, welche neben dem kohlensauren Kali auch alle übrigen löslichen Bestandtheile der Asche enthält. Da das Salz aber ungemein leicht im Wasser löslich ist, so kann man es von den anderen schwerer löslichen Verbindungen, durch Behandlung mit wenig Wasser und Eindampfen der gewonnenen Lösung, größtentheils reinigen. Es ist eine weiße, unkrystallinische feste Masse, hygroskopisch, schmelzbar und in der Weißglühhitze flüchtig. Geschmack und Wirkung erinnern etwas an die des Kalihydrats, sind aber weit weniger energisch. Das zweifach kohlensaure Kali: $KO,2CO_2,HO$ entsteht leicht, wenn man in die Lösung des neutralen Salzes Kohlensäure einleitet. Es krystallisirt aus Wasser in durchsichtigen Prismen und schmeckt schwach alkalisch und salzig. Pottasche.

Salpetersaures Kali, Kalisalpeter, KO,NO_5, steht dem kohlensauren Salze an Wichtigkeit nicht nach. Man beobachtet in manchen Gegenden, namentlich in Ostindien und Ungarn, an gewissen Stellen reichliche Auswitterungen dieses Salzes an der Oberfläche und schreibt diese Erscheinung mit Recht einer steten Neubildung des Salpeters zu, indem die im Boden vorfindlichen stickstoffhaltigen organischen Substanzen einen bei genügender Wärme und Feuchtigkeit eintretenden Verwesungsproceß erleiden, durch welchen der Stickstoff zu Salpetersäure oxydirt wird, die sich sogleich mit den vorhandenen Basen, wie Kalk, Bittererde und besonders Kali, zu salpetersaurem Salz vereinigt. Man kann dort, wo die natürlichen Verhältnisse der Bildung des Salpeters nicht günstig sind, diese künstlich hervorrufen, indem man lockere, alkalireiche Erde, Schutt und dergl., mit stickstoffhaltigen Substanzen (Urin, Blut, Jauche ꝛc.) tränkt und hierauf in Haufen geschichtet durch mehrere Jahre diesem Verwesungsproceß überläßt, wo sich endlich auch eine Auswitterung von salpetersauren Salzen kund gibt. In allen Fällen wird nun die salpeterhaltige Erde gesammelt und mit Wasser ausgelaugt; dieses nimmt nicht nur den Salpeter, sondern auch salpetersauren Kalk, salpetersaure Bittererde, sowie Chlorkalium, Chlornatrium, welche sich in der Erde vorfanden, auf. Man versetzt nun die Flüssigkeit mit einer entsprechenden Menge kohlensaurem Kali (das Brechen der Salpeterlauge), wodurch der Kalk und die Bittererde durch Doppelzersetzung in unlösliche kohlensaure Salze übergehen, während sich eine neue Menge salpetersaures Kali bildet. Hierauf wird die geklärte Flüssigkeit in eisernen Kesseln so weit abgedampft, daß sie beim Erkalten reichlich Krystalle von Salpeter liefert, welche, durch wiederholtes Auflösen und Krystallisirenlassen gereinigt, endlich den raffinirten Salpeter des Handels darstellen. Das Salz ist im Wasser reichlich löslich. Bei 18⁰ werden davon 29 Gewichtstheile auf 100 Wasser, bei 100⁰ aber beinahe 250 Gewichtstheile aufgenommen. Auch Weingeist löst den Salpeter. Seine Krystalle sind gewöhnlich gestreifte Prismen des ein- und einaxigen Systems. Er hat einen kühlenden, scharf salzigen Geschmack, schmilzt schon in gelinder Hitze, gibt bei stärkerem und längerem Erhitzen Sauerstoff ab und hinterläßt salpetrigsaures Kali, welches aber weiterhin in Sauerstoff, Stickstoff und zurückbleibendes Kali zerfällt. Leicht Salpeter.

brennbare Körper verpuffen mit dem Salpeter, der in den Laboratorien als Oxydationsmittel vielseitige Anwendung findet.

Schwefelsaures Kali. Das schwefelsaure Kali, KO,SO_3, ist ein sehr verbreiteter Bestandtheil des Meer- und Quellwassers und wird auch reichlich in den Pflanzenaschen angetroffen. Es ist farblos, schmilzt, ohne sich zu verflüchtigen, in der Hitze, schmeckt salzig bitter und löst sich ziemlich schwierig im Wasser, aus welchem es sich beim Verdampfen in Krystallen des ein- und einaxigen Systems abscheidet. Auch ein zweifach-schwefelsaures Kali ist bekannt. Das neutrale Salz dient zu Heilzwecken, vorzüglich aber zur Alaunfabrikation (s. unten).

Chlorsaures Kali. Wird in eine gesättigtere Lösung von Kalihydrat oder kohlensaurem Kali reichlich Chlorgas eingeleitet, so entsteht ein Gemenge von Chlorkalium und chlorsaurem Kali, welches letztere sich krystallinisch abscheidet und von dem anhängenden Chlorkalium durch Umkrystallisiren mit Wasser gereinigt werden kann. Es bildet in der Regel dünne, irisirende Krystallblättchen, welche dem zwei- und eingliederigen System angehören. Man verwendet es zur Darstellung des Sauerstoffs, vorzüglich aber zur Bereitung explosiver Zündpräparate (s. oben bei Chlorsäure).

Schießpulver.

Die Beschaffenheit des Schießpulvers und seine Wirkung hängt von der Zusammensetzung dieses Productes ab. Das Schießpulver ist bekanntlich ein Gemenge von Salpeter, Schwefel und Kohle. Es wird nicht immer und überall nach ganz gleichen Verhältnissen zusammengemischt, doch können wir durchschnittlich annehmen, daß in den meisten Fällen im Schießpulver auf 75 Theile Salpeter 13 — 14 Theile Kohle und 11 — 12 Theile Schwefel vorhanden sind. Bekanntlich explodirt dieses Gemenge beim Anzünden mit Heftigkeit. Wie bei jeder Explosion ist auch hier die Ursache dieser Erscheinung in einer plötzlichen Volumvermehrung zu suchen, und das Schießpulver erfüllt seinen Zweck, abgesehen von seiner relativen Billigkeit, vorzüglich deshalb, weil diese Volumvermehrung beim Abbrennen nicht allzurasch eintritt, wie dieses bei vielen anderen explodirbaren Präparaten der Fall ist, welche, selbst wenn man sie in großer Menge beschaffen könnte, doch nicht verwendbar wären, da wegen zu großer Schnelligkeit der Volumvermehrung der Trägheitsmoment des Geschosses nicht rechtzeitig überwunden werden könnte und das Geschütz unfehlbar zerbersten würde.

Es versteht sich von selbst, daß die mehrerwähnte Volumvermehrung auf der Bildung von Gasen beruht, die zudem durch die bei der chemischen Umsetzung auftretende hohe Temperatur sich noch bedeutend ausdehnen. Man hat übrigens bis in die neueste Zeit über die chemischen Vorgänge bei der Explosion des Schießpulvers eine unrichtige Vorstellung festgehalten. Das oben angedeutete Gewichtsverhältniß entspricht nämlich ziemlich genau einem Gemenge von 3 Aequivalenten Kohlenstoff mit 1 Aequivalent Salpeter und 1 Aequivalent Schwefel. Man kann sich nun vorstellen, daß bei der Detonation sämmtlicher Sauerstoff des Salpeters, welcher 6 Aequivalente beträgt, sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlensäure verbindet, während sich der Schwefel mit dem Kalium des Salpeters zu einfach Schwefelkalium vereinigt und der Stickstoff frei wird. Diese lange als richtig angenommene Ansicht hat sich bei einer sorgfältigen Untersuchung der Detonationsproducte als unrichtig erwiesen, indem es sich herausstellte, daß der Vorgang in Wirklichkeit weit complicirter sei. Man hat unter den gasförmigen Producten der Explosion neben Kohlensäure und Stickstoff auch reichlich Kohlenoxydgas und selbst Wasserstoff angetroffen. Das Kalium des Salpeters findet sich in dem Rückstande der Verbrennung nur zum kleinsten Theil als Schwefelkalium, während die Hauptmasse desselben aus kohlensaurem und schwefelsaurem Kali besteht. Letzteres Salz beweist, daß ein Theil des Sauerstoffs in der Mischung auch zur Oxydation des vorhandenen Schwefels verwendet wird. Außer den genannten Producten finden sich übrigens noch andere in geringeren Mengen, die wir füglich übergehen können, bis auf die zum Theil unverbrannt bleibende Kohle. Die Flamme des abbrennenden Schießpulvers rührt von dem Kohlenoxyd, Wasserstoff und der Kohle her, welche, so wie sie an die Luft gelangen, sich entzünden. Der Rauch des Schießpulvers wird durch die die Gase begleitenden fein vertheilten Salze hervorgerufen.

Soll das Schießpulver eine genügende Wirksamkeit haben, so müssen neben der richtigen Mengung der Bestandtheile auch noch andere Bedingungen erfüllt sein. Unter diesen steht die Körnung des Schießpulvers oben an. Es ist eine allbekannte Erfahrung, daß fein gepulvertes Schießpulver nur träge und allmählig explodirt, während dasselbe Product in Gestalt von kleinen Körnern rasch abbrennt. Die Erklärung dafür ist sehr einfach. Das feine Pulver gestattet nur, daß die an einer Stelle beginnende Zersetzung sich langsam von einem Theilchen zum andern fortpflanze, weil das Pulver nur kleine mit Luft ausgefüllte Zwischenräume darbietet, bei dem gekörnten Pulver hat dagegen die sich bildende Flamme Gelegenheit, in den namhaft größeren Zwischenräumen sich rasch auszubreiten und so die fast gleichzeitige Entzündung einer sehr großen Anzahl von Körnern zu vermitteln. Doch nöthigt noch ein anderes Verhältniß, das Schießpulver zu körnen; die Mischungsbestandtheile des Pulvers haben nämlich ein merklich verschiedenes spec. Gewicht. Wären sie nur einfach neben einander gelagert, so würde beim Transport, wo andauerndes Schütteln nicht vermieden werden kann, unfehlbar eine Entmischuug eintreten, indem sich die leichteren Kohlentheilchen in dem Gefäße mehr nach aufwärts begeben, der Schwefel und Salpeter aber sich in den unteren Schichten aufhäufen würden, wobei die Wirksamkeit völlig verloren ginge.

Was die Beschaffenheit der Materialien anlangt, so muß der Salpeter möglichst frei von Chlormetallen sein. Der Schwefel wird in Gestalt von Stangenschwefel angewendet, der Zubereitung der Kohle aber die größte Sorgfalt zugewendet. Wie schon aus früheren Andeutungen erhellt, kann die Kohle, welche die organischen Substanzen bei ihrer Destillation hinterlassen, von dem Zustande der größten Lockerheit bis zu jenem einer bedeutenden Dichte und Festigkeit in vielerlei Abstufungen erhalten werden. Dichte Kohle ist aber schwer verbrennlich und daher zur Anfertigung von Schießpulver untauglich. Man verwendet auf die Erzeugung der Kohle besondere Sorgfalt, wählt lockeres weiches Holz, besonders von Faulbaum, Pappeln u. dgl., beseitigt die Rinde, welche eine compaktere Kohle liefert, und führt die Verkohlung mit der Vorsicht durch, daß nichts von den Theerbestandtheilen zu der Kohle zurückgelangen kann, weil der Theer eine dichte Kohle liefert. Statt Meilern sind meistens Gruben im Gebrauche, in die man das Holz einschichtet, dieses dann von oben anzündet und durch passendes Bedecken die Verkohlung des Holzes leitet. In einigen großen Schießpulverfabriken wird die Verkohlung durch stark überhitzten Wasserdampf bewerkstelligt, den man über das in eisernen Cylindern eingeschlossene Holz leitet.

Mischen und Verdichten des Pulversatzes.

Die Verarbeitung des Materials findet in drei Abschnitten statt. Zunächst muß das Pulvern und Mengen vorgenommen werden, dann folgt das sogenannte Verdichten und schließlich das Körnen. Das Verdichten hat den Zweck, die Pulverbestandtheile in einen möglichst kleinen Raum zusammenzupressen, was nur durch einen starken Druck bewerkstelligt werden kann. In den gewöhnlichen Pulvermühlen wird das Pulvern, Mischen und Verdichten in einer Operation vereinigt, indem in Holz ausgeschnittene Mörser zur Anwendung kommen, worin sich durch Daumenwellen gehobene und mit schweren Bronzeschuhen versehene Stampfen bewegen. Die Pulverbestandtheile werden feucht hineingebracht, von den regelmäßig fallenden Keulen zermalmt, gemischt und in Folge der sich wiederholenden schweren Schläge auch verdichtet. Häufig wird der Pulversatz früher trocken zerkleinert und gemengt, indem man ihn in Tonnen bringt, welche um ihre horizontale Achse rotiren und mit Bronzekugeln beschickt sind. Diese rollen bei den Umdrehungen über einander und zerdrücken die Pulverbestandtheile endlich zu einem feinen Pulver. Eine andere, namentlich in England gebräuchliche Zerkleinerungs- und Mischungsmethode benutzt große aus Stein angefertigte, mit Bronzereifen versehene Scheiben von sehr bedeutendem Gewicht. Diese läßt man auf einer ebenen Unterlage langsam im Kreise rollen, wobei sie den befeuchteten Pulversatz nicht nur zerkleinern und innig mischen, sondern gleichzeitig namhaft verdichten. Letzteres wird in größeren Pulverfabriken noch weiter getrieben, indem man das feuchte Pulvermehl zwischen Tüchern dem mächtigen Drucke starker hydraulischer Pressen aussetzt. Man bildet in solcher Weise aus dem Gemenge dichte, compakte, dünne Kuchen. In allen Fällen muß der Pulversatz schließlich in Gestalt von mehr oder weniger regelmäßigen Kuchen gebracht sein, um endlich das Körnen damit vornehmen zu können.

Körnen des Pulvers.

Die gewöhnlichste Methode des Körnens besteht in Folgendem: Die halbtrockenen Pulverkuchen werden in größere Stücke zerbrochen; diese bringt man auf ein Pergamentsieb mit entsprechend weiten Oeffnungen und bewegt durch passendes Schütteln und Wenden des Siebes über den Stücken eine aus hartem Holz gedrehte, mit Blei ausgegossene, linsenförmige Scheibe. Dadurch werden die größeren Stücke zu kleineren Körnern zerdrückt, welche durch das Sieb in eine zweite Abtheilung der Vorrichtung hinabfallen, wo ein anderes feineres Siebnetz den gleichzeitig entstandenen Pulverstaub

hindurchläßt, während die Körner zurückbleiben. Derlei Siebe können mit der Hand bewegt werden; in größeren Fabriken aber benutzt man dabei Maschinen. Von diesem Verfahren gänzlich verschieden ist die in England gebräuchliche Methode des Körnens. Man bedient sich dort mehrerer Walzenpaare, welche sich in entgegengesetzter Richtung gegen einander bewegen und die mit Zähnen besetzt sind, welche die dazwischen eingeschobenen oben erwähnten Pulverkuchen fassen und in kleine eckige Stücke zerbrechen; diese fallen dann auf ein Drahtnetz, welches den Pulverstaub durchgehen läßt. Dieses Verfahren liefert eckige und scharfkantige Körner und sichert dem Pulver eine rasche Entzündbarkeit. Noch verdient eine Methode erwähnt zu werden, nach welcher im Gegensatze zur vorhergehenden ganz runde Körner erzeugt werden. Dabei läßt man den fein gepulverten trockenen innig gemengten Satz in einer Tonne rotiren, in welche mittelst einer sehr feinen Brause kleine Wassertröpfchen eingespritzt werden. Diese bilden mit dem Pulver zunächst ganz durchfeuchtete Klümpchen, die beim Rollen über den noch trockenen Antheil sich durch Ankleben von Pulver vergrößern. Man erhält so zunächst feuchte Pulverkörner von ziemlich regelmäßiger Gestalt, die vor dem Glätten getrocknet werden müssen.

Glätten und Trocknen des Pulvers. Das Glätten des Schießpulvers wird nur bei den feineren Sorten durchgeführt. Es bezweckt das lästige Abfärben der Pulverkörner zu hindern und soll gleichzeitig auch eine weitere Verdichtung bewerkstelligen, dagegen büßt das Pulver von seiner Entzündbarkeit ein. Es wird in rotirenden Tonnen vorgenommen, welche sich mit mäßiger Geschwindigkeit um ihre horizontale Achse drehen; dabei sind die Körner gezwungen, vielfach übereinander zu rollen und erhalten durch die leise Friktion eine glatte Oberfläche. Den Schluß aller Operationen bildet das vollständige Trocknen des Pulvers. Es wird in den Fabriken in mit Wasserdampf beheizten Räumlichkeiten vorgenommen, sonst auch an der Sonne. Was an Pulverstaub bei der ganzen Fabrikation abfällt, läßt sich leicht wieder zu gekörntem Pulver aufarbeiten.

Natrium.

Natrium (Sodium) zeigt im unverbundenen Zustande, so wie in seinen Verbindungen, die größte Aehnlichkeit mit Kalium und wird auch genau so wie dieses durch Erhitzen eines Gemenges von Kohle und kohlensaurem Natriumoxyd dargestellt. Seine Verbindungen sind sehr verbreitet, besonders das oft erwähnte Kochsalz, kohlensaures und schwefelsaures Natriumoxyd und kieselsaure Doppelsalze dieser Base mit anderen. Es schmilzt bei 90°, zeigt ein spec. Gew. von 0,97 und zerlegt das Wasser nicht so heftig wie Kalium, so daß beim Zusammentreffen beider Körper keine Entzündung des Wasserstoffs eintritt; im Uebrigen gleicht es genau dem Kalium. Auch das

Natron. Oxyd, NaO, gewöhnlich Natron genannt, und dessen Hydrat, NaO,HO, bieten hinsichtlich ihrer Darstellung und Eigenschaften, im Vergleich mit den entsprechenden Kaliumverbindungen, keine bemerkenswerthen Unterschiede dar und lassen sich in den überwiegend meisten Fällen genau zu denselben Zwecken anwenden, wie die letzteren. Auch das Superoxyd stimmt mit dem des Kaliums überein. Dasselbe gilt von den Schweflungsstufen des Natriums. Die wichtigste und verbreitetste Verbindung des Metalls ist das Chlor-

Kochsalz. natrium, Kochsalz, $NaCl$, welches nahezu überall, an manchen Stellen aber in großen Massen, in Gestalt von mehr oder weniger reinem Steinsalz oder als wässerige Lösung, wie im Meerwasser, welches etwa $2^1/_2$% davon enthält, und den natürlichen Salzsoolen vorkommt. Seine Bedeutung für das Leben der Pflanzen und Thiere ist sehr groß, zugleich wird es in ungeheuren Massen technisch verwendet, da man Salzsäure, Chlor und endlich kohlensaures Natron daraus fabricirt. Das Chlornatrium ist farblos, schmelzbar und verflüchtigt sich in starker Hitze unverändert, aus Wasser krystallisirt es in durchsichtigen Würfeln oder Aggregaten derselben. Wird Wasser in gewöhnlicher Temperatur damit gesättigt, so enthält die Flüssigkeit 26,5%. Bei 108°, dem Siedepunkt der völlig gesättigten Lösung,

beträgt der Kochsalzgehalt 28,5 %, ist also nur unerheblich größer. Eine in gewöhnlicher Temperatur hergestellte concentrirte Lösung des Salzes wird daher beim Verdampfen in der Wärme sehr bald Krystalle abscheiden müssen, welche Eigenschaft man auch bei Gewinnung dieses Körpers umfassend benützt.

Wo Steinsalz sich hinreichend rein vorfindet, gewinnt man es einfach durch bergmännischen Abbau; in vielen Fällen ist es aber reichlich mit fremden, schwer oder ganz unlöslichen Substanzen, wie Gyps, Thon und dergl. gemengt. Uebrigens begleiten in schwankenden Mengen das Kochsalz immer auch schwefelsaures Natron, Chlormagnesium, Brom- und Jodkalium und Natrium, schwefelsaure Bittererde und andere Salze. Vorherrschend bleibt das Chlornatrium. Aus diesen Gemengen nimmt entweder darüber hinstreichendes Quellwasser oder künstlich hinzugeleitetes Wasser die löslichen Stoffe auf und führt sie zu Tage, so die natürliche oder künstliche Salzsoole bildend. Diese wird nun, falls sie reichlich Kochsalz enthält, sogleich, oder im entgegengesetzten Falle nach vorhergegangenem Gradiren, zum Verdampfen gebracht. Das Gradiren besteht in einer theilweisen Verdunstung des Wassers an der Luft, indem man die Soole aus Behältern über hohe, aus Reisigbündeln zusammengeschichtete, dem Luftzuge ausgesetzte Wände, herabsickern läßt, was 2—3mal wiederholt wird. In allen Fällen schreitet man dann zum Sieden des Salzes in großen, flachen, eisernen Pfannen, wobei in dem Maße, als dem Chlornatrium das Lösungsmittel entzogen wird, dieses sich in kleinen Krystallen abscheidet und zu Boden fällt, welcher sich gleichzeitig mit dem Pfannenstein, einer aus Gyps, schwefelsaurem Natron und Kochsalz bestehenden Salzkruste überzieht. In der Mutterlauge häufen sich Chlormagnesium, schwefelsaures Natron, Bittererde und Jod- wie Bromverbindungen als leichter löslich auf, welche zudem auch die Krystalle des Kochsalzes mehr oder minder verunreinigen. Das Kochsalz des Verkehrs enthält gewöhnlich 4—5 % solcher fremder Stoffe. Das Feuchtwerden desselben hat seinen Grund in dem beigemengten Chlormagnesium. Gewinnung von Kochsalz.

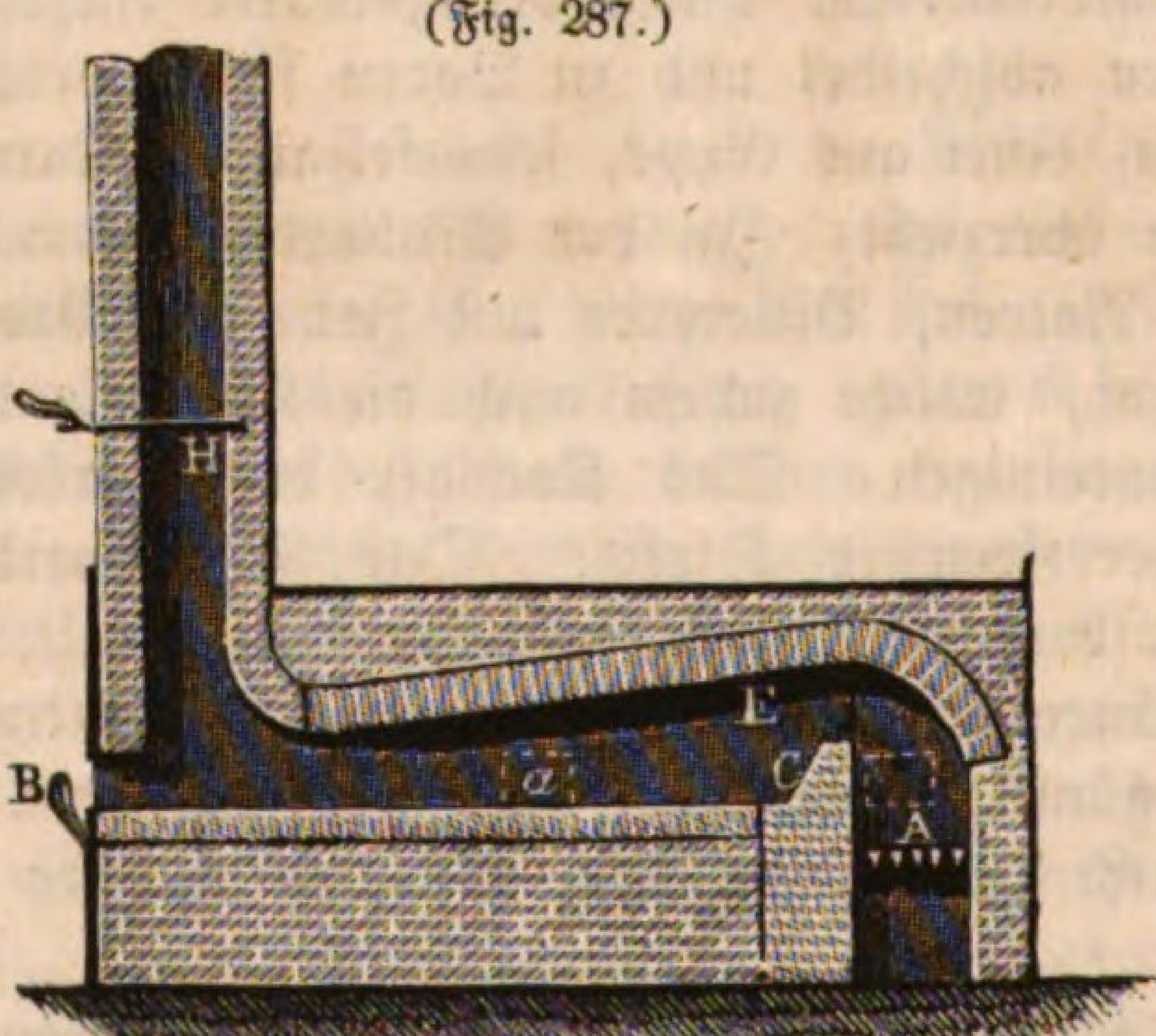
In den südlichen Gegenden Europa's, wo die Witterungsverhältnisse ein Verdunsten des Meerwassers begünstigen, gewinnt man das Meersalz, indem das Meerwasser in große flache Behälter geleitet wird, in welchen es allmälig Kochsalzkrystalle absetzt. Meersalz.

Von den Sauerstoffsalzen des Natrons sind besonders das salpetersaure, kohlensaure und borsaure Natron von Wichtigkeit. Das salpetersaure Salz, NaO,NO_5, trifft man in sehr großen Lagern im südlichen Amerika, an der Grenze zwischen Chili und Peru, etwas verunreinigt mit Kochsalz, Chlorkalium, Gyps u. s. w. Es bildet einen wichtigen Handelsartikel, wird in Europa durch Auflösen und Umkrystallisiren gereinigt, als raffinirter Chilisalpeter oder cubischer Salpeter zum Pöckeln von Fleisch, zur Darstellung von Salpetersäure u. s. w., in großen Massen benutzt, indem es in den meisten Fällen, mit Ausnahme der Schießpulverbereitung, statt des viel kostspieligeren Kalisalpeters angewendet werden kann. Das Salz löst sich leicht im Wasser, krystallisirt daraus in würfelähnlichen Rhomboëdern und zeigt übrigens in seinem chemischen Verhalten die größte Aehnlichkeit mit Kalisalpeter. Das kohlensaure Natron, NaO,CO_2, gehört zu den verbreitetsten Verbindungen. Man trifft es in Quellwässern, in kleiner Menge den Kalksteinen beigemengt, auch in der Asche mancher Strand- und Seegewächse, wo es gleich dem kohlensauren Kali, durch Verbrennung der organisch-sauren Natronsalze entstanden, und hie und da in Gestalt der un- Natronsalpeter. Kohlensaures Natron.

ausgelaugten Asche, besonders in Spanien aus der Salsola Soda gewonnen wird, deren Asche 30 % kohlensaures Natron enthält und als Barilla zur Versendung kommt. In einigen Gegenden Ungarns wittert das kohlensaure Natron aus dem Boden, wird gesammelt, und durch Auflösen und Eindampfen in Handelswaare übergeführt, welche überhaupt allgemein den Soda. Namen Soda führt und eine eben so großartige wie vielseitige Verwendung findet. Das Salz ist farblos, löst sich leicht im Wasser, zeigt einen alkalischen Geschmack, schmilzt beim Rothglühen und verdampft in starker Hitze. Durch langsames Verdunsten der wässerigen Lösung erhält man große wasserhelle Krystalle, welche 10 Atome (63 %) Wasser enthalten, an der Luft aber rasch, unter Abgabe der Hälfte des Wassers, verwittern und in ein weißes Pulver zerfallen. Wird eine gesättigte Lösung des Salzes durch Erhitzen verdampft, so scheiden sich kleine Krystalle desselben ab, welche nur 1 Atom Krystallisationswasser enthalten und Sodasalz heißen.

Künstliche Soda. Die Industrie nimmt von der Soda sehr große Quantitäten in Anspruch; das natürlich vorkommende Salz genügt diesem Bedarf nicht im Entferntesten, weshalb man künstliche Soda aus Kochsalz in sehr großartigem Maßstabe fabricirt. Zu diesem Behufe wird zunächst das Kochsalz durch Erwärmen mit Schwefelsäure in schwefelsaures Natron übergeführt. Man nimmt diesen Proceß nicht etwa in Retorten, sondern Flammenöfen. in großen Flammenöfen vor. Die Einrichtung der Flammenöfen im Allgemeinen geht aus Fig. 287 hervor. Sie bezweckt den zu behandelnden Körper lediglich der Flamme des Brennstoffes auszusetzen und zugleich die in selben befindlichen Materialien nöthigenfalls beliebig bearbeiten zu können. Der Feuerraum A nimmt den flammengebenden Gegenstand, Holz oder Steinkohle, auf. Die Flamme streicht über die Feuerbrücke C in den Heerd des durch das Gewölbe E überdeckten Ofens, und von da in die Esse H, deren Schieber den Zug beliebig zu regeln gestatten. Bei B und a sind verschließbare Arbeitsthüren angebracht, durch welche man den Ofen füllen und entleeren und die darin befindlichen Stoffe mit passenden Werkzeugen bearbeiten kann. Es ist natürlich, daß die einzelnen Theile des Ofens, namentlich Größe und Form des Heerdes, nach den Zwecken sehr mannigfaltig abgeändert werden können. So hat ein Ofen, der zur Zerlegung des Kochsalzes dienen soll, zwei Abtheilungen; die erste, welche nächst der Feuerbrücke liegt, dient zur vollständigen Zersetzung und schließlichen scharfen Austrocknung des Productes. Die dort hinstreichenden Gase gleiten nun durch mehrere Kanäle nach abwärts und erhitzen den Boden einer in der zweiten Abtheilung eingesetzten, größeren viereckigen Bleipfanne, welche in dem überwölbten Gehäuse eine Retorte vorstellt, aus der die sich entwickelnde Salzsäure (s. S. 526) durch weite Thonröhren in eine große Reihe Woulf'scher Flaschen geführt und dort vom Wasser absorbirt wird. Dieß geschieht nicht nur, um nebenbei reichlich Salzsäure zu gewinnen, sondern um auch diese so vollständig als möglich zurückzuhalten, damit selbe nicht der Nachbarschaft zu sehr zur Last falle. Um dieß möglichst zu verhindern, führt man schließlich auch die Gase noch in sehr hohe Essen. Man hat in England welche von 400 Fuß Höhe construirt.

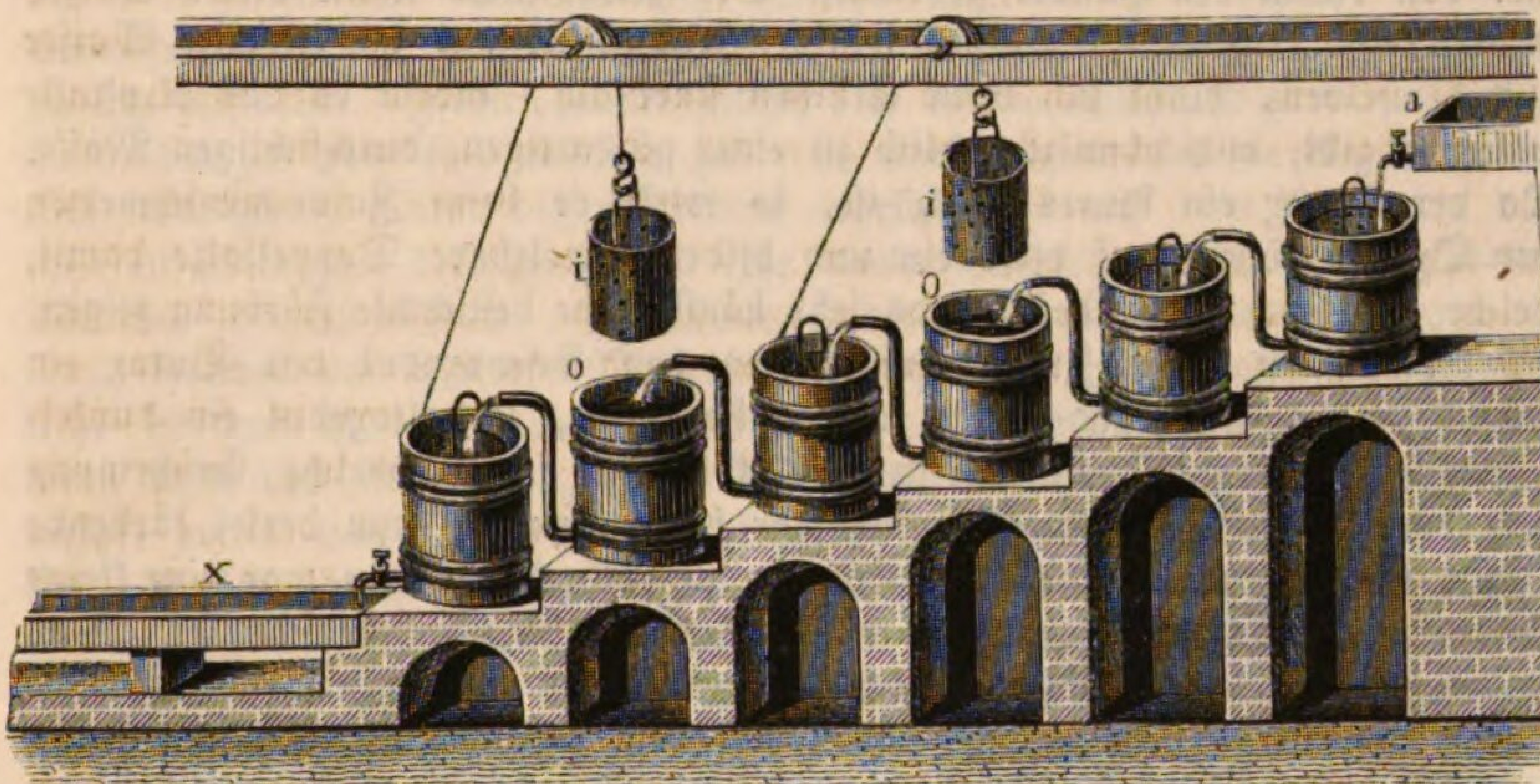
(Fig. 287.)



Das schwefelsaure Natron wird hierauf zu 200 Theilen mit 210 Theilen Kalkstein und 106 Theilen Kohle innig gemischt und auf der Soole eines Flammofens bis zum Schmelzen erhitzt. Der Kalkstein ist kohlensaurer Kalk. Das schwefelsaure Natron wird durch die Kohle in der Hitze zu einfach Schwefelnatrium reducirt, während Kohlenoxyd entweicht. Das Schwefelnatrium legt sich nun mit dem kohlensauren Kalk zu kohlensaurem Natron um, während Schwefelcalcium entsteht, eine für sich im Wasser

lösliche Verbindung, welche den ganzen Proceß wieder rückgängig machen würde, falls man das Schmelzproduct mit Wasser behandelt, wie doch nöthig, indem sich dann das Schwefelcalcium mit dem kohlensauren Natron sogleich wieder in lösliches Schwefelnatrium und unlösliches kohlensaures Calciumoxyd umlegen würde. Da aber in dem Gemenge mehr Calciumoxyd vorhanden ist, als zu dieser Umwandlung überhaupt nöthig, so bildet sich unter theilweiser Entweichung der Kohlensäure des Kalksteins, eine Verbindung von 3 Atomen Schwefelcalcium mit 1 Atom Calciumoxyd, welche im Wasser unlöslich ist und daher die Behandlung des Productes mit Wasser nicht weiter hindert. Die geschmolzene Masse, rohe Soda, ist schwarz; man läßt sie in breiigem Zustande in Blechkästen erstarren, pulverisirt sie und laugt sie dann mit warmem Wasser aus. Der Apparat, welcher hiezu dient, Fig. 288, besteht aus terrassenförmig übereinander

(Fig. 288.)



gesetzten Kufen o, durch welche das aus a beständig zufließende Wasser, vermittelst der Abflußröhren, allmälig bis in die Abflußrinne x gelangt. Die rohe Soda befindet sich in den durchlöcherten eisernen Kästen i, welche von Zeit zu Zeit in den höher gelegenen Auslaugekasten gehoben werden und auf diesem Wege alles Lösliche an das in entgegengesetzter Richtung sich bewegende Wasser abgeben müssen, welches endlich völlig gesättigt nach x gelangt. Die Lösung enthält auch immer etwas Schwefelnatrium, Natronhydrat, sowie fremde, von unreinem Kochsalz herrührende andere Beimengungen. Sie wird anfänglich in Pfannen, später in Flammenöfen bis zur Trockne eingedampft, dann calcinirt und als calcinirte Soda verschickt.

Trona. In Egypten sowie in Mexico wittert an einigen Stellen krystallinisches, anderthalb kohlensaures Natron $2NaO, 3CO_2 + Aq.$, aus dem Boden und wird gesammelt. In den Säuerlingen dagegen findet sich zweifach kohlensaures Natron, $NaO, 2CO_2 + Aq.$, welches leicht künstlich hervorgebracht werden kann, wenn man zu dem feuchten neutralen Salz oder in seine wässerige Lösung überschüssige Kohlensäure leitet. Es bildet kleine, unansehnliche Krystalle, wird beim Erhitzen in Kohlensäure und neutrales Salz zerlegt und dient zur Bereitung der bekannten Brausepulver, welches beliebte Mittel seine Wirksamkeit in der Zersetzung des zweifach kohlensauren Salzes mit Wein- oder Citronensäure findet, die man in entsprechender Menge zumischt, wo sich dann reichlich Kohlensäure entwickelt. (Doppeltkohlensaures Natron.)

Glaubersalz. Sehr verbreitet ist das schwefelsaure Natron, Glaubersalz, NaO, SO_3, es wird wasserfrei als Thénardit gefunden, findet sich aber namentlich im Meerwasser, den Salzsoolen, Mineralwässern reichlich. Die Verbindung krystallisirt aus wässeriger Lösung in Prismen des zwei- und

eingliederigen Systems mit 10 Atomen Krystallisationswasser. Sie verwittert sehr leicht, schmeckt salzig-bitter, löst sich bei 33^0 in einem Drittel seines Gewichtes Wasser auf, scheidet sich aber, wenn man die Flüssigkeit darüber hinaus erwärmt, zum Theil als wasserfreies Salz wieder ab. Die umfassende Benutzung des Glaubersalzes wurde eben erörtert. Zudem findet es auch noch in der Glasfabrikation, sowie als Heilmittel Verwendung, und wird als Nebenprodukt bei der Fabrikation der Salpetersäure aus Chilisalpeter sowie aus den Mutterlaugen der Salzsoolen gewonnen.

Borax. Mit Borsäure bildet das Natron ein neutrales und saures Salz. Das letztere ist weitaus das wichtigere. Es wird als Tinkal in Tibet gefunden und von da in den Handel gebracht. Der gewöhnliche Name dieses Salzes ist Borax. Es ist im Wasser löslich, krystallisirt mit 10 Atomen Wasser aus demselben, bläht sich beim Erhitzen stark auf, indem es das Krystallwasser abgibt, und schmilzt endlich zu einer glasartigen, durchsichtigen Masse. Da der Borax ein saures Salz ist, so wirkt er beim Zusammenschmelzen mit Oxyden lösend auf diese ein und bildet schmelzbare Doppelsalze damit, welche nach der Natur des Oxyds sehr häufig eine bestimmte Färbung zeigen. So erhält man durch Zusammenschmelzen von Eisenoxydul mit Borax ein grünes Glas; Eisenoxyd liefert ein rothbraunes, Kobaltoxydul ein dunkelblaues, Kupferoxydul ein rubinrothes Glas u. s. w., welche Erscheinung man bei Proben vor dem Löthrohr sehr häufig benutzt, um derlei färbende Oxyde in den zu untersuchenden Körpern zu entdecken, indem man eine kleine Quantität davon mit Borax auf einem Platindraht zusammenschmilzt. Das Löthen zweier Metallstücke mit dem Loth wird aus ähnlichen Gründen durch Borax gefördert, denn etwas davon auf dem zu löthenden Metalle flüssig gemacht, nimmt die etwa vorhandene dünne Oxydschicht weg, welche sonst das Haften des Lothmetalls hindern würde. Diese letztere Anwendung bedingt auch, daß der Borax eine Handelswaare bildet, und theils durch Reinigen des Tinkals mittelst Umkrystallisirens, theils durch direktes Sättigen der im Toskanischen gewonnenen Borsäure, mit der entsprechenden Menge kohlensauren Natrons, fabrikmäßig dargestellt wird.

Lithium.

Lithium ist unter den drei Alkalimetallen das mindest verbreitete, und tritt auch nirgends in größeren Mengen auf. In Pflanzen und Thieren wurde es bis jetzt nicht beobachtet. Als einer der zahlreichen Bestandtheile des Lepidoliths und der Turmaline, sowie des Petalits, Spodumens und einiger anderer seltenerer Mineralien, erscheint das Oxyd mit Kieselsäure verbunden, selten in Mineralwässern als kohlensaures Salz. Die Eigenschaften des Metalls, seines Oxyds und der Salze erinnern an die der beiden anderen Alkalien.

Ammonium.

Wir fügen nun der Beschreibung dieser drei Metalle die eines zusammengesetzten Körpers bei, welcher uns als erstes und zugleich wichtigstes Beispiel jener zahlreichen Verbindungen entgegentritt, die aus zwei oder mehreren Elementen bestehend, in ihren Verbindungsweisen dennoch völlig den Charakter eines Elementes an sich tragen, weßhalb man sie zusammengesetzte Radikale nennt. Unter diesem Ausdruck werden also Körper verstanden, welche, obwohl zusammengesetzt, dennoch sich bis auf ihre Zer-

leglichkeit wie Elemente verhalten. Der Körper, von dem wir hier zu sprechen haben, ist das **Ammonium**, und besteht aus 1 Atom Stickstoff und 4 Atomen Wasserstoff (NH_4). Abgesehen von den Zerlegungen, welche diese Gruppe unter vielen Umständen leicht erleidet, ist der chemische Charakter des Ammoniums genau dem des Kaliums angepaßt, bis zu dem Grade, daß in vielen Fällen ohne genaue Untersuchung selbst ein geübtes Auge die Kaliumverbindungen von denen des Ammoniums nicht zu unterscheiden vermag. Deßhalb ist die Besprechung dieses merkwürdigen Körpers hier an ihrem Platze. Er entsteht in sehr mannigfaltiger Weise, jedoch immer nur als Verbindung meistens aus stickstoffhaltigen, organischen Stoffen; bei ihrer Zerstörung durch Fäulniß, trockene Destillation u. dergl., wo dann Schwefelammonium, Chlorammonium und kohlensaures Ammoniumoxyd hauptsächlich auftreten. Isolirt konnte bisher das Ammonium nicht werden. Seine Verbindungen aber sind eben so zahlreich und bekannt als die des Kaliums. Die metallartige Natur dieses Körpers erhellt schon aus dem Umstande, daß man ein Amalgam desselben, also eine direkte Verbindung mit einem anderen Metalle, herstellen kann. Mit einer anderen Gruppe, dem **Ammoniak**, NH_3, welches um 1 Atom Wasserstoff weniger als das Ammonium enthält, steht letzteres in einem eben so einfachen als interessanten Zusammenhange. Ammoniak. Man kann das Ammoniak, ohne Ausnahme, aus dem Ammonium entstehen lassen, wenn man die Salze des letzteren durch eine kräftigere Base, wie Kali, Kalk u. dergl., zersetzt. Das sich abscheidende Ammoniumoxyd, NH_4O, zerfällt dabei augenblicklich in Ammoniak und Wasser. Dagegen wird das Ammoniumoxyd sogleich wieder zurückgebildet, wenn ein Säurehydrat mit Ammoniak zusammenkommt, z. B.: $NO_5,HO + NH_3 = NH_4O,NO_5$. Wenn Wasserstoffsäuren mit Ammoniak in Berührung treten, so findet eine ähnliche Rückbildung von Ammonium statt, indem der Wasserstoff der Säure an das Ammoniak tritt, und das so entstehende Ammonium sich mit dem Haloide der Säure verbindet. Läßt man z. B. Ammoniakgas und Chlorwasserstoffsäure zu gleichen Raumtheilen zusammentreten, so verbinden sich beide augenblicklich zu Chlorammonium: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$. Das Chlorammonium, der **Salmiak**, findet sich auch natürlich vor. Salmiak. Er wurde früher ausschließlich in Egypten durch Sublimation des Russes des Kameelmistes gewonnen, wo er sich in Folge des Stickstoffgehaltes dieses dort gebräuchlichen Brennmaterials, unter Vermittelung des Clornatriums, bildet, und in den flüchtigen Producten der Verbrennung ansammelt. Gegenwärtig dient meistens zur Fabrikation des Salmiaks das in den Leuchtgasfabriken gewonnene Theerwasser, welches reichlich Schwefelammonium und kohlensaures Ammoniumoxyd enthält. Man sättigt das Wasser mit Schwefelsäure, bildet so eine Lösung von schwefelsaurem Ammoniumoxyd, welche, mit Chlornatrium versetzt und hinreichend eingedampft, durch Doppelzersetzung schwefelsaures Natron und Chlorammonium liefert. Das erstere scheidet sich zunächst, später Salmiak, krystallinisch ab, welcher, durch eine Sublimation gereinigt, in Gestalt einer faserigen krystallinischen Masse in den Handel kommt. Das Salz ist farblos, löst sich in beiläufig zwei Theilen warmem Wasser auf, krystallisirt daraus in kleinen regulären Octaëdern, hat einen sehr unangenehmen, scharf salzigen Geschmack und läßt sich unverändert verflüchtigen. Es findet eine sehr vielseitige Verwendung und bildet für den Chemiker in der Regel den Ausgangspunkt zur Darstellung anderer Ammoniumverbindungen und des Ammoniaks.

Schwefelwasserstoff und Ammoniak vereinigen sich in der Kälte zu einfach Schwefelammonium: NH_4S, einem farblosen krystallinischen Körper von sehr unangenehmem Geruch. Es sind noch andere Schweflungsstufen, namentlich in wässeriger Lösung, bekannt. Salpetersaures Ammoniumoxyd, NH_4O,NO_5, durch Sättigen von Salpetersäurehydrat mit Ammoniak leicht zu erhalten, bildet Krystalle, welche dem Kalisalpeter gleichen, verpufft bei raschem Erhitzen, zerlegt sich aber, allmälig erwärmt, in Wasser und Stickstoffoxydul (s. Seite 496). Mit Kohlensäure vereinigt sich das Ammoniumoxyd in mehreren Verhältnissen. Die wichtigste Verbindung ist das anderthalb kohlensaure Ammoniumoxyd, welches bei der trockenen Destillation stickstoffhaltiger organischer Stoffe auftritt. Man stellt es in reinem Zustande durch Erhitzen von 1 Theil Salmiak mit 2 Theilen kohlensaurem Kalk (Kreide) dar, wobei nicht, wie man erwarten sollte, durch Doppelzersetzung neutrales kohlensaures Salz entsteht, sondern ein Drittel des Ammoniumoxydes als Ammoniak und Wasser entweicht, während andererseits Chlorcalcium entsteht. Man nimmt die Zersetzung in einer Retorte vor, deren Gewölbe und Hals sich mit dem Salze als einer durchsichtig krystallinischen Masse auskleiden. Im kalten Wasser löst sich die Verbindung unverändert. Beim Erwärmen der Lösung entweicht Kohlensäure und bleibt neutrales Salz zurück. Wird in die Flüssigkeit Kohlensäure eingeleitet, so scheiden sich kleine Krystalle von doppelt kohlensaurem Ammoniumoxyd ab: $NH_4O,CO_2 + CO_2HO$, welche dem entsprechenden Kalisalze gleichen. Dies gilt auch von dem schwefelsauren Ammoniumoxyd, welches sich beim Erhitzen in Stickstoff, Wasser, Ammoniak und schwefligsaures Ammoniumoxyd zersetzt.

Ammonium-Oxydsalze.

Was nun das Ammoniak anlangt, so haben wir dessen Entstehung aus dem Ammonium oben schon erörtert. Es ist ein farbloses, coërcibles Gas, von einem spec. Gewicht von 0,58, hat einen höchst stechenden, durchdringend scharfen Geruch und wird vom Wasser zu 1000 Raumtheilen unter Volumvermehrung und Wärmeentwickelung absorbirt. Die so gewonnene Lösung heißt **Ammoniakflüssigkeit**, **Salmiakgeist**, **Aetzammoniak**. Sie hat ein spec. Gewicht von 0,85, riecht heftig nach Ammoniak und gibt letzteres schon bei etwa 55^0 wieder gasförmig ab. In dieser Form findet auch in der Regel das Ammoniak seine Anwendung. Man stellt das Gas durch Erwärmen von gepulvertem Salmiak mit Kalk in einer Retorte dar ($CaO + NH_4Cl = CaCl + NH_3 + HO$) und bereitet die Ammoniakflüssigkeit durch Einleiten des so entwickelten Gases in Wasser, wie bei der Darstellung der Salzsäure Seite 526 erzählt wurde.

Salmiakgeist.

Ammonium sowie Ammoniak gehören zu den merkwürdigsten Körpern, die wir überhaupt kennen, und nehmen an den wichtigsten chemischen Vorgängen in der Natur einen eben so ausgedehnten Antheil, wie etwa das Wasser und die Kohlensäure. Der Wasserstoff des Ammoniaks und Ammoniums ist durch verschiedene einfache und zusammengesetzte Radikale ersetzbar, selbst manche Metalle und sogar Ammonium als solches sind im Stande, in der Gruppe den Wasserstoff zu ersetzen, ohne daß in vielen Fällen der oben erörterte chemische Charakter dieser beiden Körper eine wesentliche Abänderung erlitte. Wir kennen demnach eine große Reihe von Verbindungen, welche sich auf den Typus NH_4 und NH_3 zurückführen lassen.

IV.

Die feste Erdrinde.

Obwohl die Zahl der Elemente, die als solche oder in ihren Verbindungen an der Zusammensetzung der festen Erdrinde Antheil nehmen, eine sehr bedeutende ist, so können wir doch, wie schon früher erwähnt wurde, nur verhältnißmäßig wenigen Elementen einen namhaften Antheil bezüglich der Masse und Wichtigkeit ihres Auftretens darin zugestehen, und diese sind es selbstverständlich gerade, welche auf die chemischen Umwandlungen des belebten und unbelebten Theils der Erde den größten und mannigfaltigsten Einfluß ausüben. Hier vereinigen sich Metalle und Metalloide zu einer großen Zahl mannigfaltig combinirter Verbindungen, und unter den Metalloiden nimmt auch hier wieder der Sauerstoff den ersten Rang ein, indem weitaus die zahlreichsten und am reichlichsten auftretenden Verbindungen Oxyde sind. Im untergeordneten Grade beobachtet man den Schwefel als Zünder. Er kommt in Verbindung mit Metallen übrigens noch weit spärlicher vor, als das Chlor, zeigt aber gegenüber von diesem eine weit größere Mannigfaltigkeit der Verbindungsweisen, während das Chlor, vorwiegend an Natrium gebunden, das massenhaft auftretende bereits besprochene Kochsalz bildet; Verbindungen mit anderen Metallen aber nur spärlich und in geringer Anzahl auftreten. Unter den leichten Metallen, die vorwiegend als Oxyde die feste Erdrinde bilden, sind Calcium, Magnesium und Aluminium anzuführen. Die ersteren bilden, als kohlensaure Salze, bedeutende Gebirgsmassen, während das Oxyd des Aluminiums, die Thonerde, hauptsächlich an Kieselsäure gebunden, in Gestalt von höchst zahlreichen und complicirt zusammengesetzten Doppelsalzen, mit Alkalien, Bittererde und anderen Erden eine fast unabsehbare Reihe von Mineralien und aus denselben zusammengesetzten Gesteinsarten bildet. Außer dem Sauerstoff, Chlor und Schwefel treten im Allgemeinen die Metalloide, welche sich überhaupt an der Zusammensetzung der Erdrinde betheiligen, als Radicale auf und finden sich, meist mit Sauerstoff verbunden, in Gestalt von Säuren mit Basen zu Salzen vereinigt vor. Die wichtigsten Metalloide dieser Art sind das Silicium und der Phosphor. Letzterer findet sich eigentlich nirgends massenhaft, dagegen ungemein verbreitet in Gestalt von Phosphorsäure, hauptsächlich an Calciumoxyd gebunden. Wenn wir von dem geringen Gehalte gewisser Meteoreisenmassen, welche ohnehin unserer Erde nicht angehören, an Phosphoreisen absehen, so ist der Phosphor in seinem natürlichen Vorkommen in der unorganischen Welt auf die erwähnte Phosphorsäure beschränkt. Dieselbe

Einfachheit des Auftretens beobachten wir beim Silicium, welches man bis jetzt nur als Kieselsäure in der Natur aufgefunden hat. Für die Organismen ist der Phosphor von weit größerer Bedeutung, als das Silicium, da die Phosphorsäure theils in Gestalt von Salzen, theils, nachdem sie durch Lebensvorgänge ihres Sauerstoffs beraubt worden ist, und den Phosphor an andere Körper abgegeben hat, an der Bildung und Zusammensetzung vieler natürlicher organischer Substanzen sich betheiligt, während das Silicium nur spärlich sich als Normalbestandtheil in den Organismen befindet. Daß manche der genannten Substanzen in Verbindungen verschiedener Art sich den vorwiegend in wässeriger Lösung auftretenden Körpern beigesellt und somit dem tropfbar flüssigen Theile unserer Erde keineswegs fremd sind, haben wir bereits erwähnt. Andererseits nimmt auch das Wasser an der Bildung der festen Erdrinde vielfältigen Antheil, indem es sich mit manchen Verbindungen als Krystallwasser vereinigt hat und so das feste Gefüge der Erde mit aufbauen half. Der Gyps z. B., der an manchen Stellen massenhaft auftritt, enthält Krystallwasser, und selbst mancherlei kieselsaure Salze stellen sich als Verbindungen mit Wasser dar. Fragen wir nach der Rolle, welche die schweren Metalle bei der Konstituirung der Erdrinde spielen, so erweist sich diese als eine sehr untergeordnete, wenn wir das Eisen ausnehmen wollen. Dieses Metall ist nicht nur ungemein verbreitet, sondern einige Verbindungen derselben treten auch in einer Massenhaftigkeit auf, welche an das Vorkommen des Calciums und Aluminiums erinnert. Zudem hat die Natur dem Eisen auch bei der Entwickelung der Organismen einen wichtigen Antheil zugewiesen, und Pflanzen wie Thiere enthalten stets nachweisbare Mengen verschiedener Eisenverbindungen. Wie das Chlor von Brom und Jod begleitet zu sein pflegt, so kennen wir in dem Mangan einen steten Begleiter des Eisens, dem das genannte Metall auch häufig in die Organismen folgt. Die übrigen schweren Metalle, so reichlich uns auch einige von der Natur geboten werden, treten im Vergleich mit den vorhin erwähnten leichten Metallen, was die Menge anlangt, sehr in den Hintergrund. Ihre Verbindungen finden sich auch wenig verbreitet und zumeist auf beschränkten Fundstellen aufgehäuft. Sie bilden die Erze, die in Gängen und auf Lagern, von den Gebirgsgesteinen umschlossen, uns das Material darbieten, die Metalle zu gewinnen. Wir können daher die feste Erdrinde als bestehend bezeichnen aus Verbindungen der leichten Metalle, und diese bilden, das Kochsalz mit eingeschlossen, die eigentlichen Gebirgsmassen und Gesteine. Das Vorkommen der schweren Metalle beschränkt sich im Allgemeinen auf die Erze. Nach den obigen Andeutungen wären zunächst nun von uns zu betrachten Silicium und Phosphor, dem sich, seiner chemischen Aehnlichkeit mit letzterem wegen, das Arsen anschließt und womit die Reihe der Metalloide geschlossen ist, während wir von den leichten Metallen Calcium, Magnesium und Aluminium näher zu berücksichtigen haben.

Silicium (Kiesel)

hat man durch Zusammenschmelzen der Kieselsäure mit Aluminium, wobei sich letzteres des Sauerstoffs bemächtigt, im krystallisirten Zustande isoliren gelernt. Es ist dann grau, metallglänzend, zeigt Formen des drei- und dreigliederigen Systems, erscheint für sich unschmelzbar und verbrennt an der Luft erhitzt, mit lebhaftem Glanze zu Kieselsäure: SiO_3. Zudem hat man

auch eine niedrigere Oxydationsstufe des Siliciums, das Siliciumoxyd, Si_2O_3, kennen gelernt.

Die Kieselsäure SiO_3 trifft man als Bergkrystall und Quarz in reinem unverbundenem Zustande natürlich an. Diese Mineralien sind sehr hart, durchsichtig, farblos oder durch fremde Beimengungen etwas gefärbt (Amethyst), ihre Krystallform gehört dem drei- und einaxigen Systeme an. Welche zahlreiche Varietäten der Quarz darbietet, wird in der Mineralogie näher ausgeführt werden. Im Feuerstein, Opal und in einigen anderen hierher gehörigen Mineralien erscheint die Kieselsäure völlig amorph; in einem solchen Zustande läßt sie sich auch künstlich durch Glühen des Kieselsäurehydrates darstellen. Man erhält sie so als ein feines, weißes, lockeres Pulver, welches zwischen den Zähnen knirscht und gleich dem Quarz in Wasser völlig unlöslich ist. Auch die Säuren greifen sie nicht an, mit Ausnahme der Flußsäure, welche sich, wie oben bemerkt, damit in Fluorsilicium umlegt ($SiO_3 + 3HFl = SiFl_3 + 3HO$). Die Kieselsäure ist sehr schwer schmelzbar; im Knallgasgebläse aber kann sie zu einer zähflüssigen Masse geschmolzen werden, welche glasartig erstarrt. Man kennt auch Hydrate der Kieselsäure. Gewisse natürliche und künstliche Salze derselben lassen sich durch stärkere Säuren zerlegen oder, wie man es in diesem Falle zu nennen pflegt, aufschließen und die Kieselsäure wird abgeschieden. Sie bildet dann eine durchscheinende gallertartig aufgequollene Masse, welche sich auch etwas im Wasser löst, namentlich, wenn dieses viel freie Salz- oder Schwefelsäure enthält. Nach dem Austrocknen an der Luft hat das Hydrat das Aussehen der durch Glühen daraus gewonnenen amorphen wasserfreien Säure und enthält auf 1 Atom der Letzteren 3 Atome Wasser, von welchem aber schon bei 100^0 ein Theil entweicht. Obwohl Kieselsäure für sich völlig feuerbeständig ist, so verflüchtigt sich doch eine beträchtliche Menge derselben, wenn die Säure sich in siedendem Wasser befindet, wo sie die Dämpfe des Letzteren begleitet. Die Bedeutung der Kieselsäure beschränkt sich nicht auf ihr Vorkommen in der Mineralwelt, man findet sie auch in Pflanzen und Thieren als wesentlichen unentbehrlichen Bestandtheil, namentlich enthält die Epidermis der Gramineen reichlich Kieselsäure, die Panzer vieler Infusorien bestehen aus Kieselsäurehydrat (Kieselguhr) und selbst in dem Blute der höheren Thiere findet sich, obwohl spärlich, dieser Körper. Die Kieselsäure zeichnet sich durch die große Mannigfaltigkeit aus, welche die Zusammensetzung ihrer Salze zeigt. Man nennt diese im Allgemeinen Silikate. Alle übrigen Verbindungen des Siliciums ahmen in ihrer Zusammensetzung die Kieselsäure nach. Das Siliciumchlorid und das Siliciumbromid $SiCl_3$ und $SiBr_3$ sind flüchtige farblose Flüssigkeiten, die Fluorverbindung aber stellt ein farbloses coërcibles Gas vor, welches einen sauren Geruch besitzt und an der Luft raucht.

Kieselsäure.

Phosphor.

Bei diesem Elemente lassen sich mehrere interessante allotropische Modificationen beobachten. Gewöhnlich stellt es einen farblosen oder schwachgelblich gefärbten, weichen, biegsamen und durchsichtigen Körper dar, welcher unter 0^0 spröde ist, bei 44^0 zu einer wasserhellen beweglichen Flüssigkeit schmilzt und bei 290^0 siedet; sein spec. G. beträgt 1,83. An der Luft leuchtet er, aus bald näher zu erörternden Gründen, und vom Wasser wird er nicht gelöst. Flüssige Fette, viele Kohlenwasserstoffe, Weingeist und Aether nehmen ihn

dagegen, obwohl spärlich, auf, reichlich aber Schwefelkohlenstoff, Phosphorchlorür und Schwefelphosphor, welche ihn beim Verdampfen auch in Dodekaëdern und Octaëdern des regulären Systems auskrystallisiren lassen. In gelinder Wärme oder beim Reiben entzündet er sich an der Luft und verbreitet stets einen unangenehmen Geruch nach phosphoriger Säure. Einen eigenthümlichen Gegensatz zu dieser gewöhnlichen Modification des Phosphors bildet der rothe Phosphor, welcher bei längerer Einwirkung des Lichtes aus dem gewöhnlichen entsteht oder, noch leichter und reichlicher, falls man letzteren durch längere Zeit bei Abschluß der Luft einer Temperatur von 250^0 aussetzt. Er bildet dann eine spröde braunrothe Masse von dunkelgrauem muschligen Bruch, die sich im Vergleich mit dem gewöhnlichen Phosphor sehr indifferent verhält, an der Luft weder leuchtet noch riecht, in Schwefelkohlenstoff ganz unlöslich ist und ein spec. Gewicht von 2,1 hat. Wird der rothe Phosphor auf 261^0 erhitzt, so geht er wieder in den gewöhnlichen über. Auch einen schwarzen Phosphor hat man durch rasches Abkühlen des Geschmolzenen erhalten.

Reibzündhölzchen. Der Phosphor findet bekanntlich bei Anfertigung der Reibzündhölzchen, wo er fein vertheilt und mit pulverförmigen starren Körpern gemengt, mittelst eines bindenden Körpers, wie Leim- oder Gummilösung, zu einem Brei angemacht und so an die Spitze der Hölzchen durch Eintauchen befestigt, nach dem Austrocknen beim Reiben sich leicht entzündet, eine sehr ausgedehnte Anwendung. Auch dient er als Vertilgungsmittel für Mäuse u. dergl., endlich wird er in den chemischen Laboratorien vielseitig benutzt. Man stellt ihn ausschließlich durch Reduction der Phosphorsäure, PO_5, mittelst Kohle in hoher Temperatur dar und verwendet als Material den in den Knochen der Säugethiere vorfindlichen phosphorsauren Kalk, welcher aus 3 Atomen Kalk auf 1 Atom Phosphorsäure besteht. Die Knochen werden zuerst bei Luftzutritt so lange gebrannt, bis die leimgebende Substanz (siehe Seite 508) völlig beseitigt ist. Man erhält so die sogenannte Knochenerde, Knochenasche, worin sich etwa 80 % des genannten Kalksalzes, im Uebrigen 7 % kohlensaurer Kalk und ferner Bittererde, Kochsalz u. s. w. vorfinden. Nachdem dieses Gemenge fein gepulvert worden, erwärmt man es mit einer entsprechenden Quantität Schwefelsäure, welche 2 Atome Kalk von der Knochenerde als schwefelsaures schwerlösliches Salz abtrennt und dadurch die Bildung eines Salzes von der Formel: CaO,PO_5 veranlaßt, welches im Wasser löslich ist, während sich der Gyps größtentheils abscheidet. Man filtrirt von diesem die Flüssigkeit ab, dampft sie bis zur Syrupsconsistenz ein, vermischt sie hierauf mit Holzkohlenpulver, trocknet sie in gußeisernen Kesseln sehr scharf aus und bringt sie hierauf in thönerne Retorten, die allmälig bis zum Weißglühen erhitzt werden. Dadurch findet eine Reduction von zwei Drittel der vorhandenen Phosphorsäure unter gleichzeitiger Bildung von Kohlenoxyd und Kohlensäure statt; der Phosphor entweicht dampfförmig und im Rückstande bleibt wieder ein Salz von der Zusammensetzung der Knochenerde: $3(CaO,PO_5) - 10O = 3CaO,PO_5 + 2P$. Die Vorlage ist dabei so eingerichtet, daß der Phosphor sich unter Wasser ansammeln muß und somit vor der Verbrennung geschützt ist, während die Gase durch das Wasser ungehindert entweichen. Schließlich wird der Phosphor unter warmem Wasser durch sämisch gegerbtes Leder gepreßt und so von den mechanischen Verunreinigungen befreit.

Darstellung des Phosphors.

Leuchten des Phosphors. Daß der Phosphor eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff habe, geht aus Obigem hervor. Sein Leuchten an der Luft ist Folge einer all-

mäligen Oxydation, indem sich phosphorige Säure bildet, welche selbst wieder weiter unter Sauerstoffaufnahme leuchtet und in Phosphorsäure übergeht. Es ist merkwürdig, daß in reinem Sauerstoffe dieses Leuchten bei höherem Drucke nicht stattfindet, dagegen rasch in verdünntem Sauerstoff eintritt. Die Beimengung von Schwefelwasserstoff, Chlor, Weingeist-Dampf und anderen Gasen verhindert das Leuchten, während dagegen diese Erscheinung sich in manchen Gasen, wie Kohlensäure, wahrnehmen läßt, wenn nur eine Spur von Sauerstoff denselben beigemengt ist. Man kann die phosphorige Säure, PO_3, im wasserfreien Zustande als eine farblose, pulverförmige, flüchtige unangenehm knoblauchartig riechende Masse erhalten, wenn man Phosphor bei beschränktem Luftzutritte verbrennt. Mit Wasser vereinigt sich dieses Produkt sehr energisch zu einem krystallisirbaren Hydrat: $PO_3,3HO$, welches an der feuchten Luft zerfließt und überhaupt sehr löslich ist. Phosphorige Säure.

Weitaus wichtiger als die vorhergehende Säure ist die Phosphorsäure, PO_5. Beim Verbrennen des Phosphors unter reichlichem Sauerstoffzutritt erhält man sie wasserfrei als eine geruchlose, farblose, schmelzbare, in starker Hitze flüchtige Masse, die begierig Feuchtigkeit aus der Luft anzieht und so in Hydrat übergeht, welches sich leicht im Wasser löst. Hat man die Lösung einige Zeit gekocht, so finden wir darin die gewöhnliche Phosphorsäure $cPO_5,3HO$, welche sich aus stark concentrirten Lösungen auch in farblosen prismatischen Krystallen des zwei- und zweigliedrigen Systems erhalten läßt. Diese Modification der Säure ist es auch, welche natürlich vorkömmt. Sie ist uns das erste Beispiel der häufig auftretenden mehrbasischen Säuren, welche zur Bildung neutraler Salze, von dem oben angeführten Gesetze abweichend, in der Base mehr als 1 Atom Sauerstoff in Anspruch nehmen. Die gewöhnliche Phosphorsäure ist dreibasisch, d. h. also in ihren neutralen Salzen sind auf 1 Atom Säure 3 Atome Sauerstoff in der Base vorhanden. Sie liefert somit, abgesehen von den basischen Salzen, drei Reihen Salze, welche, wenn wir MO als allgemeinen Ausdruck für die Base annehmen, durch folgende Formeln repräsentirt sind: $2HO,MO,cPO_5$ — $HO,2MO,cPO_5$ — $3MO,cPO_5$. Letzteres Salz ist das neutrale, die beiden vorhergehenden sind ein- und zweibasisch saure; mit Ausnahme weniger Metalloxyde sind die dem ersten und zweiten Typus entsprechenden c phosphorsauren Salze in Wasser schwer oder gar nicht löslich. Erwärmt man das gewöhnliche Phosphorsäurehydrat auf 200°, so geht es unter Abgabe von 1 Atom Wasser in die sogenannte Pyro-Phosphorsäure, b Phosphorsäure über, welche 2basisch ist und die Formel: $bPO_5,2HO$ hat. Diese liefert mit den Basen nur zwei Reihen von Salzen: HO,MO,bPO_5 und $2MO,bPO_5$, welche Salze sich in ihrer äußeren Beschaffenheit von denen der c Phosphorsäure wesentlich unterscheiden. Hat man c oder b Phosphorsäurehydrat bis zum schwachen Glühen erhitzt, so bleibt eine glasartige geschmolzene Masse zurück, welche eine dritte Modification der Phosphorsäure, die einbasische Metaphosphorsäure, a Phosphorsäure vorstellt. Sie bildet neutrale Salze, welche bloß 1 Atom Sauerstoff in der Base auf 1 Atom Säure enthalten: MO,aPO_5, und kann übrigens in mehreren sehr merklich verschiedenen Abänderungen erhalten werden. Phosphorsäure.

Die gewöhnliche Phosphorsäure bereitet man in der Regel durch Erwärmen von Phosphor mit Salpetersäure, wobei ersterer sich zunächst in ein Gemenge von phosphoriger Säure und Phosphorsäure umwandelt, welches bei längerem Erwärmen vollends zur c Phosphorsäure wird.

35*

Außer diesen Verbindungen mit Sauerstoff kennt man noch die unterphosphorige Säure PO als eine syrupdicke geruchlose Flüssigkeit und das Phosphoroxyd P_2O, welches einen rothen pulverförmigen Körper vorstellt.

Phosphorwasserstoff. Wird Phosphorcalcium, Ca_2P, welches man durch Glühen von Kalk unter Zuleitung von Phosphordämpfen, mit phosphorsaurem Kalk gemengt gewinnt, mit Wasser zusammengebracht, so bildet sich unter Wasserzerlegung Calciumoxyd CaO und flüssiger Phosphorwasserstoff H_2P. Dieser ist ungemein flüchtig, entzündet sich an der Luft selbst in sehr niedriger Temperatur, ist also wie man zu sagen pflegt, selbstentzündlich und zerlegt sich ungemein leicht in Phosphorwasserstoffgas und starren Phosphorwasserstoff. Letzterer bildet einen gelben flockigen Körper; das Phosphorwasserstoffgas H_3P stellt ein farbloses, sich schon bei 100° entzündendes, eigenthümlich unangenehm riechendes Gas von 1,85 spec. G. dar. Kleine Beimengungen des selbst-entzündlichen flüssigen Phosphorwasserstoffs veranlassen auch die Selbstentzündlichkeit des Phosphorwasserstoffgases.

Mit Chlor bildet der Phosphor direkt zunächst Phosphorchlorür PCl_3, eine wasserhelle bewegliche Flüssigkeit von durchdringendem Geruch, welche bei weiterer Zuleitung von Chlor sich in Phosphorchlorid PCl_5 umwandelt. Dieses ist farblos, krystallinisch, flüchtig und von heftigem Geruch.

Arsenik.

Arsen findet man gediegen in der Natur als Scherbenkobalt, Fliegenstein, zudem werden Schwefelverbindungen desselben theils für sich, theils als Sulfosäuren mit basischen Schwefelmetallen vereinigt, dann Arsenmetalle, endlich arsenige und Arsensäure, letztere immer nur als Salz, gefunden. Dieses Element ahmt in den meisten Beziehungen den Phosphor nach, obwohl sein äußeres Aussehen sehr an das der Metalle erinnert. Es ist zinnweiß, glänzend, sehr spröde, krystallisirt im drei- und dreigliedrigen Systeme, hat ein spec. Gew. von 5,672, verflüchtigt sich in schwacher Glühhitze, ohne früher zu schmelzen und liefert dabei einen intensiv nach Knoblauch riechenden Dampf. Es wird theils als Gift, theils zur Herstellung verschiedener Metallmischungen (Legirungen) benutzt und deßhalb, wo es gediegen vorkommt, gesammelt oder mittelst Sublimiren aus thönernen Retorten aus Arsenikkies ($FeAs + FeS_2$) und dem Arsenikalkies (FeAs) gewonnen, welche beide beim Erhitzen Arsendämpfe abgeben. An der Luft verliert Arsenik bald seinen Metallglanz, indem es sich an der Oberfläche mit Arsensuboxyd überzieht, dessen Zusammensetzung jedoch nicht mit Gewißheit ermittelt ist. Beim Erhitzen verbrennt es an der Luft mit blaßblauer Flamme zu arseniger Säure AsO_3, welche

Arsenige Säure. natürlich als Arsenikblüthe in octaedrischen Krystallen vorkömmt. Sie verflüchtigt sich in mäßiger Hitze, ohne zuvor zu schmelzen und condensirt sich bei raschem Abkühlen zu kleinen Krystallen, welche sich im Wasser ziemlich schwierig lösen und ungemein giftig sind. Ihre vielseitige Verwendung für mannigfaltige Zwecke bedingt deren Darstellung im Großen aus dem Arsenkies und Arsenikalkies auf den sogenannten Gifthütten. Dort werden die Erze auf der Soole eines Muffelofens ausgebreitet und allmälig unter öfterem Wenden und reichlichem Zutritt der Luft bis zum Glühen erhitzt, wobei der Sauerstoff die Bildung von arseniger und schwefliger Säure veranlaßt, welche sich verflüchtigen, während Eisenoxyd zurückbleibt. Die Einrichtung des Ofens bedingt, daß die flüchtigen Produkte von dem nachdringenden Luftstrome in einen längeren gemauerten Canal und von da in mehrere mit einander com-

municirende Kammern (den Giftthurm) gelangen, wo sich die arsenige Säure zu kleinen pulverförmigen Kryställchen condensirt und ablagert. Sie bildet so das Giftmehl und muß noch raffinirt werden, um als Handelswaare dienen zu können. Zu diesem Behufe sublimirt man sie aus eisernen Kesseln, über welchen mehrere eiserne Kränze und schließlich eine derlei Haube, aus welcher eine Röhre in Condensationskammern führt, aufgesetzt sind. Beim Erhitzen des Kessels werden die erwähnten Kränze so warm, daß die arsenige Säure sich dort nicht krystallinisch, sondern als eine halb geschmolzene glasartige Masse verdichtet, welche das weiße Arsenikglas oder die glasige, amorphe arsenige Säure vorstellt. Bei längerem Liegen aber verwandelt sich dieses Produkt in ein Aggregat von kleinen Krystallen, welches dann eine undurchsichtige porzellanartige Masse von muschligem Bruch bildet.

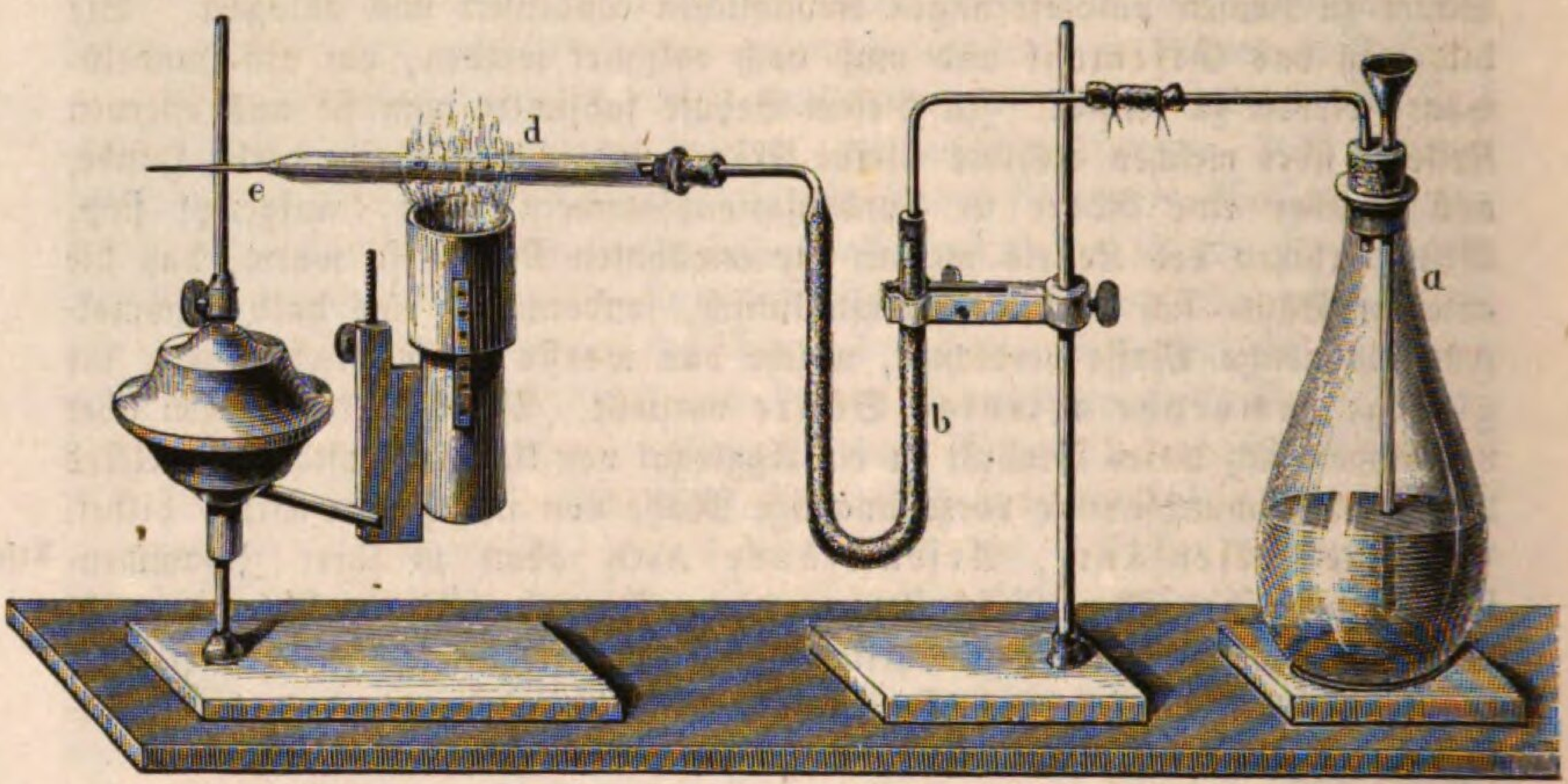
Die Arsensäure, Arseniksäure AsO_5 ahmt in ihrer Zusammensetzung und chemischen Beschaffenheit die c Phosphorsäure vollständig nach. Sie bildet wasserfrei eine glasartige Masse und zieht leicht Feuchtigkeit aus der Luft an, wobei das krystallisirbare Arsensäurehydrat: $AsO_5,3HO$ entsteht, welches dreibasisch ist. Arsensäure.

Arsenwasserstoff H_3As entsteht, wenn Wasserstoff mit Arsen oder arseniger Säure im Entstehungsmomente zusammentrifft. Bringt man daher in eine Gasentwicklungsflasche, wo Zink und Schwefelsäure die bekannte Wirkung (Seite 493) auf einander äußern, Arsen oder arsenige Säure, so mischt sich dem Wasserstoff in entsprechender Menge Arsenwasserstoffgas bei. Ist Arsen so reichlich vorhanden, daß es genügt, sämmtlichen Wasserstoff zu binden, so erhält man reinen Arsenwasserstoff als ein farbloses, unangenehm riechendes, coërcibles Gas, welches ungemein giftig ist. Tritt es aus einer engen Mündung und wird es dann angezündet, so verbrennt es mit einer schwach leuchtenden Flamme, welche auf eine hineingehaltene Porzellanplatte metallisches Arsenik absetzt. In der Glühhitze zerfällt nämlich das Gas in Arsen und Wasserstoff. Arsenwasserstoff.

Letzteres Verhalten benutzt man mit Erfolg zur Nachweisung kleiner Mengen von Arsenik bei Vergiftungsfällen. Die fraglichen Substanzen, welche auf einen Gehalt an Arsen geprüft werden sollen, pflegt man vorerst durch Erwärmen mit concentrirter Schwefelsäure zu verkohlen, wobei sich alle anwesenden organischen Stoffe derartig verändern, daß sie das sich etwa entwickelnde Arsenwasserstoffgas nicht weiter verunreinigen können. Dann übergießt man sie mit Wasser, welches neben freier Schwefelsäure die arsenige Säure auflöst, und bringt die abfiltrirte Flüssigkeit in eine Gasentwicklungsflasche a Fig. 289, in welcher sich bereits Zink und verdünnte Schwefelsäure befinden, die eine reichliche Entwicklung von Wasserstoff veranlassen. Dieser geht zunächst durch das U-förmige Rohr b, wo sich Chlorcalcium befindet, welches das Gas austrocknet und von da in eine engere Glasröhre d, welche in eine feine Spitze ausgezogen ist und beiläufig in der Mitte durch eine Weingeistlampe zum Glühen erhitzt wird. Bald nachdem die arsenhaltige Flüssigkeit in a eingebracht wurde, ist dem Wasserstoff auch Arsenwasserstoff beigemengt, welches in der Röhre d zerlegt, dann eine spiegelnde Ablagerung von Arsen bei e veranlaßt, deren Prüfung weiter das Vorhandensein des Giftes außer allen Zweifel zu setzen geeignet ist. Ausmittelung von Arsenvergiftungen.

Mit Schwefel verbindet sich Arsen in mehreren Verhältnissen. Man kennt das zweifach Schwefelarsen AsS_2, welches als Realgar der Mineralogen natürlich auftritt und künstlich durch Zusammenschmelzen von Schwefelarsen.

(Fig. 289.)



Schwefel und Arsen im richtigen Verhältnisse leicht erhalten werden kann. Es hat eine schöne rothe Farbe, ist ohne Zersetzung flüchtig, verbindet sich mit basischen Schwefelmetallen zu Sulfosalzen und findet als Malerfarbe Anwendung. Das dreifach Schwefelarsen AsS_3, als Auripigment, Rauschgelb, natürlich vorkommend, läßt sich in ähnlicher Weise darstellen wie Realgar. Man kann es auch bereiten, wenn man eine Lösung von arseniger Säure der Einwirkung eines Stromes von Schwefelwasserstoff aussetzt, wobei der Wasserstoff des Letzteren mit dem Sauerstoff der arsenigen Säure Wasser bildet, der Schwefel sich mit dem Arsen vereinigt und die Arsenverbindung in Gestalt eines gelben flockigen Niederschlags sich abscheidet. Das fünffach Schwefelarsen AsS_5, der Arsensäure correspondirend, wird aus letzterer durch Einwirkung von Schwefelwasserstoff in ganz ähnlicher Weise erhalten, ist ebenfalls gelb und gleich den beiden vorhergehenden Verbindungen eine Sulfosäure. Die eben erwähnte Wirkung des Schwefelwasserstoffs beobachten wir übrigens in vielen Fällen, wo er mit Oxyden zusammenkommt und durch Doppelzersetzung Wasser und eine andere Schwefelverbindung liefert. Manche Metalloxyde werden sogar in diesem Sinne umgewandelt, wenn sie als Salze mit Schwefelwasserstoff in Berührung kommen, wobei sich dann Schwefelmetall bildet, während das neu entstandene Wasser an die Säure tritt und so deren Hydrat hervorbringt.

Calcium.

Kohlensaurer Kalk.

Wie wir bereits früher angedeutet, findet sich dieses so weit verbreitete und wichtige Metall hauptsächlich als kohlensaurer Kalk in der Natur. Die Varietäten dieser mehr oder minder rein auftretenden Verbindung sind sehr zahlreich. Der Kalkstein, die Schalen und Gerüste der Muscheln und Korallen, die Vogeleier, der Kalkspath, die Kreide, der Marmor u. s. w. sind sämmtlich kohlensaurer Kalk. Die Krystalle des Kalkspathes gehören dem drei- und dreigliederigen Systeme an. Doch findet man auch natürlich, als Arragonit, neutralen kohlensauren Kalk (CaO,CO_2) in Prismen des ein- und eingliederigen Systems, welche beim Erhitzen in kleine rhomboedrische Krystalle von Kalkspath zerfallen. Der neutrale kohlensaure Kalk ist im

Wasser unlöslich und kann daher leicht künstlich hergestellt werden, wenn man ein lösliches Kalksalz mit gelöstem kohlensauren Alkali versetzt, wobei durch Doppelzerlegung kohlensaurer Kalk hervorgebracht und in Gestalt eines weißen krystallinischen Niederschlags abgeschieden wird. Kohlensäurehaltiges Wasser löst aber das neutrale Salz merklich auf, indem sich löslicher zweifach kohlensaurer Kalk bildet, welcher sich häufig, wie erwähnt, in Quellen und Mineralwässern vorfindet, beim Erwärmen oder Verdunsten desselben jedoch wieder Kohlensäure abgiebt und so die Ablagerung von Kalksinter und dergl. veranlaßt, welche wir an vielen Stellen beobachten.

Kalk. Der *Kalk* ist Calciumoxyd CaO, das Calcium hat man durch Zersetzung von schmelzenden Chlor- oder Jodcalcium mittelst eines electrischen Stromes abgeschieden. Es ist gelb und oxydirt sich ungemein leicht. Das Calciumoxyd repräsentirt eine Klasse von Basen, welche sich in mancher Beziehung den Alkalien anreihen, im Wasser dagegen weit schwerer löslich sind, als die Alkalihydrate, ein erdiges Aussehen besitzen und daher den Namen *alkalische Erden* führen. Außer dem Kalk gehören hieher *Baryt* und *Strontian*, welche analoge Oxyde der Metalle *Barium* und *Strontium* sind und den chemischen Character mit dem Calciumoxyd theilen. Um letzteres darzustellen, unterwirft man reinen kohlensauren Kalk einer heftigen Glühhitze, wobei die Kohlensäure entweicht und das Oxyd als sogenannter *Aetzkalk* unverbunden zurückbleibt. Er ist, so hergestellt, weiß, amorph, höchst feuerbeständig und verbindet sich, mit Wasser zusammengebracht, damit unter bedeutender Erwärmung zu Kalkhydrat: CaO,HO. Dabei tritt eine bedeutende Volumvermehrung der Masse ein und das Hydrat (*gelöschter Kalk*) zerfällt zu einem weißen, feinen Pulver. Das Kalkhydrat löst sich in 800 Theilen Wasser zu einer alkalischen Flüssigkeit, dem sogenannten *Kalkwasser*. Im Wasser vertheiltes Kalkhydrat bildet die *Kalkmilch*. Der *Kalkbrei* ist eine zarte plastische Masse. Der Kalk als eine kräftige Base findet in den chemischen Laboratorien und Fabriken die vielseitigste Verwendung. In weit größeren Massen wird er aber zur Bereitung des Mörtels benutzt, dessen Wirksamkeit als Bindemittel vorzüglich darauf beruht, daß das breiartige Gemenge von Sand und Kalk allmälig austrocknet und das Kalkhydrat mit der Zeit, indem es Kohlensäure aus der Luft anzieht, in kohlensauren Kalk übergeht.

Kalk-brennen. Das Brennen des Kalkes bezweckt, den natürlichen kohlensauren Kalk, *Kalkstein*, durch hinreichende Hitze in Aetzkalk überzuführen, wobei immer auf den Umstand Rücksicht genommen wird, daß das Entweichen der Kohlensäure durch über die Kalksteinstücke hinstreichende Gase sehr erleichtert wird, weßhalb man in allen Fällen die Verbrennungsgase der Feuerung durch den passend geschichteten Kalkstein gleiten läßt. Die Kalköfen haben gewöhnlich eine sehr einfache Einrichtung und bestehen meistens aus einem roh hergerichteten Schachtofen, in welchem zunächst über dem Boden aus größeren Steinstücken eine Art Gewölbe gebildet wird, über welches man dann den Kalkstein aufschichtet. Unter dem Gewölbe wird dann durch etwa drei Tage ein lebhaftes Feuer unterhalten und der Kalk gar gebrannt. An der Luft zerfällt gebrannter Kalk allmälig unter Aufnahme von Wasser und Kohlensäure zu einem weißen Pulver.

Chlor-calcium. Von den Haloidsalzen des Calciums sind *Chlor-* und *Fluorcalcium* die wichtigsten. Das erstere $CaCl$ trifft man im Steinsalz, Meer- und auch im Quellwasser. Es ist im Wasser ungemein löslich, krystallisirt daraus mit

6 Atomen Krystallwasser, zerfließt an der Luft ungemein rasch, läßt sich in starker Hitze schmelzen und bildet nach dem Erkalten eine krystallinische Masse, welche wegen ihrer Fähigkeit, Wasserdampf aus den Gasen rasch und sehr vollständig wegzunehmen, zum Trocknen derselben allgemein benutzt wird. Das Fluorcalcium, der **Flußspath** $CaFl$, dessen Beschreibung sich in der Mineralogie findet, ist für uns als das einzige Material zur Bereitung von Fluorverbindungen von Belang.

Flußspath.

Der **schwefelsaure Kalk** CaO,SO_3 findet sich wasserfrei als **Anhydrit** reichlicher, an manchen Stellen in großen Massen, mit 2 Atomen Krystallwasser als **Gyps**. In solcher Gestalt wird das Salz auch erhalten, wenn eine lösliche Kalkverbindung mit Schwefelsäure oder schwefelsauren Salzen zusammentrifft, wo sich der Gyps in feinen nadelförmigen Krystallen abscheidet. Er löst sich in 380 Theilen Wasser. Wird er auf etwa 160^0 erwärmt, so entweicht das Krystallisationswasser. Das wasserfreie Salz bildet, in Pulverform mit Wasser angerührt, einen Brei, der nach kurzer Zeit fest wird, indem der entwässerte Gyps wieder sein Krystallwasser aufnimmt, so ein Gewebe kleiner Krystallnadeln bildet, welche noch einen Ueberschuß von Wasser mechanisch einschließen und damit das Erstarren des Breies hervorrufen. Es ist bekannt, daß man von dieser Eigenschaft des entwässerten (**gebrannten**) Gypses zur Anfertigung von Abgüssen, von Mörtel u. s. w. die vielseitigste Verwendung macht. Das Brennen des Gypses erheischt aber die Vorsicht, daß das Salz nicht über 200^0 erhitzt wird, da es bei dieser Temperatur zwar das Wasser verliert, aber gleichzeitig unfähig wird, es wieder aufzunehmen. Mit Phosphorsäure geht Kalk mehrere Verbindungen ein. Die interessanteste derselben ist der neutrale dreibasische phosphorsaure Kalk: $3CaO,cPO_5$. Er findet sich krystallisirt als **Apatit**, auch unkrystallinisch (**Phosphorit**), tritt nur an wenigen Stellen reichlich auf, ist dagegen aber sehr verbreitet und bildet das Material, welchem zunächst die Pflanzen ihren Bedarf an phosphorsaurem Kalk verdanken und die Aufnahme desselben durch die Thiere vermitteln, welche ohne Ausnahme für ihre Lebensvorgänge dieses Salzes bedürfen, namentlich die höheren Thiere zur Herstellung ihrer Knochen (s. S. 546).

Gyps.

Phosphorsaurer Kalk.

Der **Chlorkalk** ist ein Gemenge von unterchlorigsaurem Kalk mit Chlorcalcium und Kalkhydrat, welches als Bleichmaterial eine sehr ausgedehnte Benutzung findet. Man stellt den Chlorkalk in der Weise dar, daß auf dem Boden von Kammern Kalkhydrat ausgebreitet und dieser dann mit zuströmendem Chlorgas so lange in Berührung gelassen wird, als das Hydrat letzteres noch absorbirt. Die Hälfte des Hydrats geht dabei in eigentlichen Chlorkalk über und bleibt dem Reste mechanisch beigemengt.

Chlorkalk.

Magnesium.

Bei den Metallen der eigentlichen Erden, welche letztere verhältnißmäßig schwache Basen vorstellen und ein erdiges Aussehen besitzen, findet hinsichtlich ihres chemischen Characters lange nicht so viel Aehnlichkeit statt, wie unter den früher besprochenen Gruppen. Die meisten sogenannten Erdmetalle gehören zu den Seltenheiten und haben daher nur eine geringe Bedeutung. Eine Ausnahme davon machen das Magnesium und Aluminium. Ersteres haben wir bereits als Chlormagnesium unter den Bestandtheilen des Meerwassers angetroffen, welches zudem auch schwefelsaures Magnesiumoxyd enthält, von dem wir oben erzählten, daß es den characteristischen

Bestandtheil der Bitterwässer ausmacht. Das Magnesium ist ein treuer Begleiter des Calciums, besonders der natürliche kohlensaure Kalk ist sehr häufig mehr oder weniger mit der entsprechenden Magnesiumverbindung verunreinigt, welche übrigens auch selbständig auftritt. Zudem kennt man auch zahlreiche Verbindungen des Magnesiumoxyds mit Kieselsäure. Das unverbundene Metall ist sehr dehnbar, schmilzt in geringer Hitze, hat einen bedeutenden Glanz und silberweiße Farbe; in der Wärme und bei Gegenwart von Säuren oxydirt es sich leicht. Das Magnesiumoxyd, Magnesia, Bittererde, Talkerde: MgO, läßt sich durch Glühen der kohlensauren Bittererde leicht erhalten und bildet ein weißes, lockeres, sehr streng-flüssiges, geruch- und geschmackloses Pulver, die gebrannte Magnesia der Pharmaceuten. Wasser verbindet sich damit unter geringer Wärmeentwickelung zu Magnesiahydrat: MgO,HO, welches in 5000 Theilen Wasser sich löst und eine sehr schwach alkalische Flüssigkeit damit bildet. Die Bittererde hat im Vergleich mit den früher besprochenen Basen geringe Affinität zu den Basen, liefert jedoch eine ganze Reihe von constant zusammengesetzten Salzen, die meist einen unangenehm bittern Geschmack haben, woher ihr Name rührt. Bittererde.

Das neutrale kohlensaure Salz, natürlich als Magnesit auftretend, findet sich reichlicher mit kohlensaurem Kalk verbunden, als Bitterspath und Dolomit. Durch Doppelzersetzung eines löslichen Magnesiasalzes mit kohlensaurem Alkali erhält man immer unlösliche Verbindungen, welche neben dem neutralen Salze auch Bittererdehydrat enthalten. Eine solche ist auch die als Heilmittel verwendete weiße Magnesia. In den Bitterwässern, im Meerwasser und Steinsalz findet sich die schwefelsaure Bittererde, das Bittersalz: MgO,SO_3, welches aus wässerigen Lösungen beim Verdunsten mit 7 Atomen Krystallwasser in Prismen des ein- und einaxigen Systems krystallisirt und ebenfalls zu Heilzwecken verwendet wird. Bringt man zu der Lösung desselben schwefelsaures Kali oder Ammoniumoxyd und dampft ein, so entstehen Krystalle eines Doppelsalzes, welche aus gleichen Atomen der beiden Salze und 6 Atomen Wasser zusammengesetzt sind. Kohlensaure Bittererde. Bittersalz.

Aluminium

trifft man nur spärlich als reines Oxyd, dagegen massenhaft in zahlreichen kieselsauren Salzen. Es gehört zu den verbreitetsten Elementen, findet sich aber in Quell- und Mineralwässern nur in höchst geringer Menge als phosphorsaures Salz. Das reine Aluminium ist nahezu silberweiß, ziemlich streng-flüssig und gegen Sauerstoff, sowie oxydirende Agentien auffallend indifferent, so daß es sich in den meisten Beziehungen wie ein edles Metall verhält; dagegen beträgt sein spec. Gewicht nur 2,56 und die Vereinigung dieser Eigenschaften veranlaßt eine vielseitige Verwendbarkeit dieses Metalles. Als diese, erst vor wenigen Jahren, erkannt wurde, gab man sich viele Mühe, ein Verfahren ausfindig zu machen, nach welchem das Aluminium im Großen und zu billigen Preisen erzeugt werden könnte, ohne daß es bis jetzt gelungen wäre, dieses Ziel zu erreichen. Dem ungeachtet wird Aluminium in Frankreich fabricirt. Dabei aber mit geringen Abänderungen nach derselben Methode verfahren, welche der Chemiker in seinem Laboratorium behufs der Darstellung benützt, indem man Chloraluminium mit Natrium erhitzt, wobei sich Chlornatrium bindet und Aluminium in kleinen Metallkügelchen abgeschieden wird, die man nachträglich unter Borax zu größern Massen zusammenschmilzt. Die große Dehnbarkeit des Aluminiums gestattet, es leicht zu

bearbeiten. Man verfertigt daraus Luxusgegenstände. Mit Kupfer liefert es eine goldähnliche Legirung, welche man gleichfalls verarbeitet.

Thonerde. Das einzige bekannte Oxyd des Aluminiums ist die Thonerde, Alaunerde, welche sich im wasserfreien Zustande als Saphir, Rubin und Korund findet und die künstlich leicht durch Glühen ihres Hydrates als ein weißes lockeres Pulver erhalten werden kann, welches erst im Knallgasgebläse zu einer glasartigen Masse schmilzt, ohne Geruch und Geschmack und im Wasser unlöslich ist. Dasselbe gilt von dem Hydrate, welches sich aus der Lösung der salpetersauren Thonerde, auf Zusatz von Ammoniakflüssigkeit, unter Bildung von salpetersaurem Ammoniumoxyd, in Gestalt eines durchscheinend-gallertartigen Körpers abscheidet. Die Formel der Thonerde ist: Al_2O_3, die des Hydrats: $Al_2O_3,3HO$. Die Thonerde ist somit nach einem Typus zusammengesetzt, welcher von dem der früher erwähnten Basen abweicht, wie überhaupt dießfalls mancher Unterschied wahrgenommen werden kann, während sich andererseits eine große Aehnlichkeit mit anderen entsprechend zusammengesetzten Oxyden herausstellt. Diese sind gleich der Thonerde nämlich ziemlich schwache Basen, deren Salze sehr leicht einen Theil der Säuren abgeben und überhaupt eine große Neigung besitzen, basische Verbindungen hervorzubringen. Dagegen lassen sich die Oxyde dieser Reihe auch als schwache Säuren betrachten, von denen manche, namentlich eben die Thonerde, leicht von Kali- oder Natronlauge gelöst wird.

Chloraluminium. Unter den Haloidverbindungen des Aluminiums verdient das Chloraluminium Al_2Cl_3 hervorgehoben zu werden; es ist flüchtig krystallinisch, gelblich gefärbt, schmilzt leicht und siedet bei 180°. Man stellt es dar, indem über ein inniges Gemenge von Thonerde mit Kohle unter gleichzeitigem Erhitzen Chlorgas geleitet wird, wobei der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff Kohlensäure liefert, während sich das Chlor mit dem Aluminium verbindet.

Schwefelsaure Thonerde. Die schwefelsaure Thonerde, durch Behandlung von Thonerde mit Schwefelsäure zu erhalten, ist im Wasser leicht löslich und krystallisirt aus demselben in perlmutterglänzenden dünnen Blättchen oder Nadeln, von der Formel $Al_2O_3,3SO_3 + 18Aq$. Zudem sind auch basische Salze bekannt. Wird eine wässerige Lösung der neutralen schwefelsauren Thonerde mit einer solchen von schwefelsaurem Kali gemengt, so scheidet sich bald in deutlichen Octaedern des regulären Systems ein Doppelsalz ab, welches Alaun heißt, nach der Formel: $Al_2O_3,3SO_3 + KO,SO_3 + 24Aq$ zusammengesetzt ist und sich auch, obwohl spärlich, natürlich findet. Der Alaun ist im Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zu 1 auf 13 Theile löslich, schmilzt schon bei 100° in seinem Krystallisationswasser, bläht sich, weiter erhitzt, zu einer weißen voluminösen Masse auf (gebrannter Alaun) und wird als ein leicht rein und krystallisirt zu erhaltendes Thonerdesalz sehr mannigfaltig verwendet, insbesondere in der Färberei, zum Weißgerben, bei Herstellung von Lackfarben, als Heilmittel u. s. w. Die große chemische Aehnlichkeit des Ammoniums mit dem Kalium beurkundet sich unter anderm auch dadurch, das schwefelsaures Ammoniumoxyd gleich dem Kalisalze mit der schwefelsauren Thonerde unter denselben Verhältnissen ein dem Kalialaun vollkommen gleichendes Doppelsalz liefert.

Alaun.

Gewinnung des Alauns. Die vielseitige Verwendung des Alauns bedingt seine fabriksmäßige Darstellung. Im Kirchenstaate zu Tolfa dient hierzu der Alaunstein, ein Mineral, welches man aus bereits fertigem Kalialaun und Thonerdehydrat zusammengesetzt betrachten kann. Wird der Alaunstein schwach geglüht, so erleidet er eine Veränderung, wornach er dann an Wasser Alaun abgibt, was vor dem

Glühen nicht stattfindet. Auf dieses Verhalten stützt sich die Fabrikation des römischen Alauns, der, als vorzüglich rein, besonders geschätzt wird, indem er ganz eisenfrei ist, was bei der Benützung des Alauns in der Färberei, wo durch einen Eisengehalt die Farbentöne modificirt werden, maßgebend erscheint. Die bei weitem größte Menge von Alaun wird jedoch in anderer Weise erzeugt. Die Alaunerze, welche als Rohstoff dienen, sind schieferige oder erdige, von Schwefelkies (Schwefeleisen) durchzogene Thone, die man mit Brennstoff in große Haufen schichtet und, nachdem diese angezündet, einem allmäligen Röstprozesse überläßt, bei welchem der Schwefel des erwähnten Kieses sich zu Schwefelsäure oxydirt, von der ein großer Theil an die Thonerde des Thons tritt, während sich zugleich schwefelsaures Eisenoxydul bildet. Ist dieses Rösten vollendet, so laugt man das Produkt mit Wasser aus, dampft die gewonnene Lösung der schwefelsauren Thonerde gehörig ein und versetzt die erkaltete Lauge mit schwefelsaurem Kali oder Ammoniumoxyd, hindert durch Umrühren die Bildung größerer Alaunkrystalle, um die Beimengung von Eisenverbindungen möglichst zu verhüten und reinigt das Produkt durch Auflösen und Umkrystallisiren. Römischer Alaun.

Das eben besprochene Salz ist uns ein wichtiges Beispiel einer Erscheinung, welche sich vielseitig beobachten läßt und uns beweist, daß gewisse Körper bei der Bildung eines Krystalles andere vollkommen ersetzen können, ohne daß die ursprüngliche Gestalt des Krystalles die geringste Veränderung erlitte. Man nennt solche, beim Ausbau eines Krystalls einander vertretende Körper isomorph. Die Isomorphie beschränkt sich aber nur auf solche Substanzen, welche auch gleichzeitig eine gleiche Zusammensetzungsweise darbieten. Die Alaune gehören hierher. Nicht nur die Thonerde, sondern auch das Eisenoxyd, Fe_2O_3, Manganoxyd, Mn_2O_3, und Chromoxyd, Cr_2O_3, liefern mit schwefelsaurem Kali oder Ammoniumoxyd Doppelsalze von völlig gleicher Krystallform und Zusammensetzung. Alle enthalten 24 Atome Krystallwasser und können demnach in den verschiedensten Verhältnissen zusammen krystallisiren, ohne daß die Form eine Veränderung erlitte. Auch das schwefelsaure Natron kann mit den genannten schwefelsauren Salzen Alaune von derselben Constitution und Form liefern und wir kennen demnach eine ganze Reihe solcher isomorpher Salze, wo sich einerseits Thonerde, Manganoxyd, Eisenoxyd und Chromoxyd, andererseits Kali, Natron und Ammoniumoxyd in den wechselndsten Verhältnissen vertreten. Von den bis jetzt besprochenen Substanzen wären noch als wichtige Beispiele der Isomorphie Arsen- und Phosphorsäure zu erwähnen, die bei gleicher Zusammensetzungsweise in allen entsprechenden Salzen völlig isomorph sind. Schwefelsäure, Selensäure, Mangansäure und Chromsäure sind ebenfalls isomorph, so wie Brom, Chlor, Jod und Fluor in ihren Verbindungen mit Kalium und Ammonium. Isomorphie.

Bezüglich der übrigen zur Gruppe der Erdmetalle gehörigen Elemente mögen die Namen derselben hier genügen. Es sind: Yttrium, Erbium, Terbium, Thorium, Zirkonium, Glycium, Cerium, Lanthanium und Didymium.

Die Silikate: Glas, Thon.

Wir haben uns bisher enthalten, über die kieselsauren Salze der besprochenen Metalloxyde etwas Näheres mitzutheilen. Es ist an der Zeit, das Wichtigste darüber hier nachzutragen. Es wurde schon oben erörtert, in welch mannigfaltigen und schwankenden Verhältnissen die Kieselsäure sich mit den Basen zu verbinden vermag. Die Natur bietet uns eine ungemein große Reihe der mannigfaltigst zusammengesetzten Silikate,

welche wir durch Kunstproducte noch namhaft erweitert haben. Unter letzteren sind einige wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit von großer Bedeutung. Dieß gilt namentlich vom **Glas**, dessen wesentlichste Eigenschaften als allgemein bekannt hier wohl vorausgesetzt werden dürfen. Es gibt kein einfaches kieselsaures Salz, d. h. mit einer einzigen Base, welches den Anforderungen, die wir an brauchbares Glas zu stellen pflegen, genügte; denn die kieselsauren Alkalien sind, falls nicht große Mengen von Säure mit dem Alkali zusammengeschmolzen werden, im Wasser löslich, im entgegengesetzten Falle aber sehr strengflüssig und daher zur Bearbeitung untauglich. Letzteres gilt allgemein von den kieselsauren alkalischen Erden, während Gemenge von Alkali- und Erdsilikaten beim Schmelzen ein brauchbares Glas liefern. Die gewöhnlichen Gläser sind denn auch Gemische von mehrfach- gewöhnlich zweifach-kieselsaurem Kali oder Natron, mit dem entsprechenden Kalksalz. Statt letzterem wird, namentlich behufs der Herstellung von schönen geschliffenen Luxusgläsern oder für optische Zwecke, kieselsaures Bleioxyd angewendet, welches das Glas leicht schmelzbar macht und ihm ein hohes Lichtbrechungsvermögen ertheilt. Kali und Kalk liefern das schwerst schmelzbare, aber dagegen auch, falls die Materialien rein zur Verwendung kamen, das schönste und farbloseste Glas, während Natron immer dem Glase eine bläuliche Färbung ertheilt, daher die Natrongläser zur Herstellung von dickwandigen Prunkgefäßen und dergl., wo die erwähnte Färbung deutlicher hervortritt, sich nicht eignen. Es ist klar, daß die Qualität des Glases nicht nur von der richtigen Zusammensetzung des Productes, sondern zugleich von der Reinheit der Materialien abhängt. Die Kieselsäure kömmt nach Bedarf als reinster Bergkrystall, Quarz, Quarzsand, endlich in Gestalt von manchen natürlichen Silikaten zur Verwendung. Die alkalische Base liefert reineres kohlensaures Kali, Pottasche, selbst ausgelaugte Holzasche, Soda und für Natrongläser auch Glaubersalz, in welchem Falle man Kohle zusetzt, die beim Schmelzen die Schwefelsäure zu schwefliger Säure reducirt, worauf sich das Natron mit der Kieselsäure verbindet. Der Kalk wird als Kalkstein verwendet und erforderlichenfalls das Bleioxyd in Gestalt von Bleiglätte oder Mennige (s. unten). Falls diese Substanzen, wie meistens geschieht, unrein sind, finden sich die fremden Beimengungen zum größten Theil im Glase wieder. Als solche wären hervorzuheben: Eisenoxydul, Eisenoxyd, Manganoxydul, Bittererde und Thonerde. Da das Eisenoxydul das Glas grün färbt, während die entsprechende Menge Eisenoxyd eine viel unmerklichere gelbrothe Farbe hervorruft, pflegt man bei Herstellung besserer Glassorten arsenige Säure oder Braunstein (Mangansuperoxyd) zuzusetzen, welche das Eisenoxydul in Oxyd umwandeln und dadurch die erwähnte intensivere Färbung verhindern.

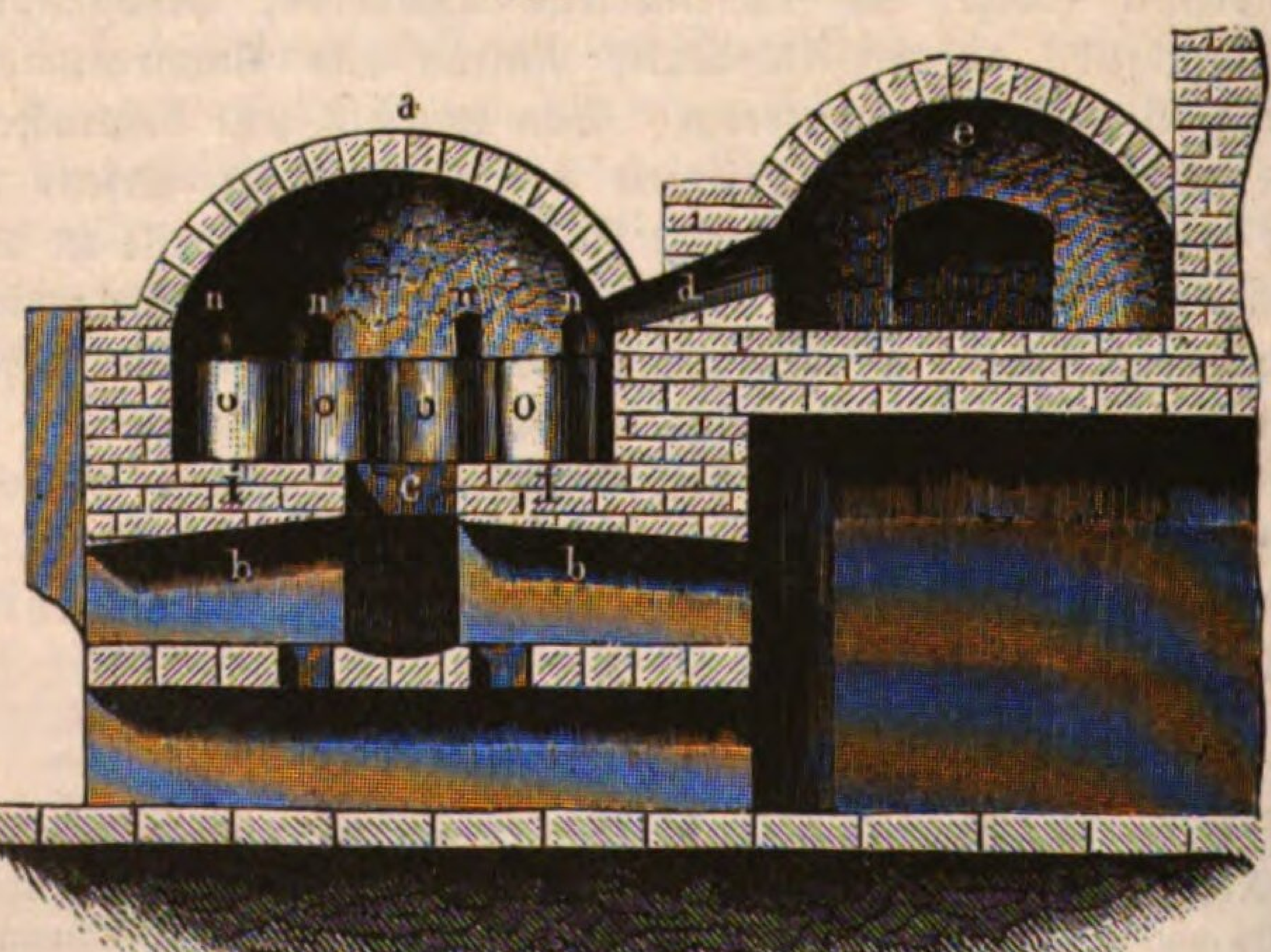
Glas.

Materialien für Glasbereitung.

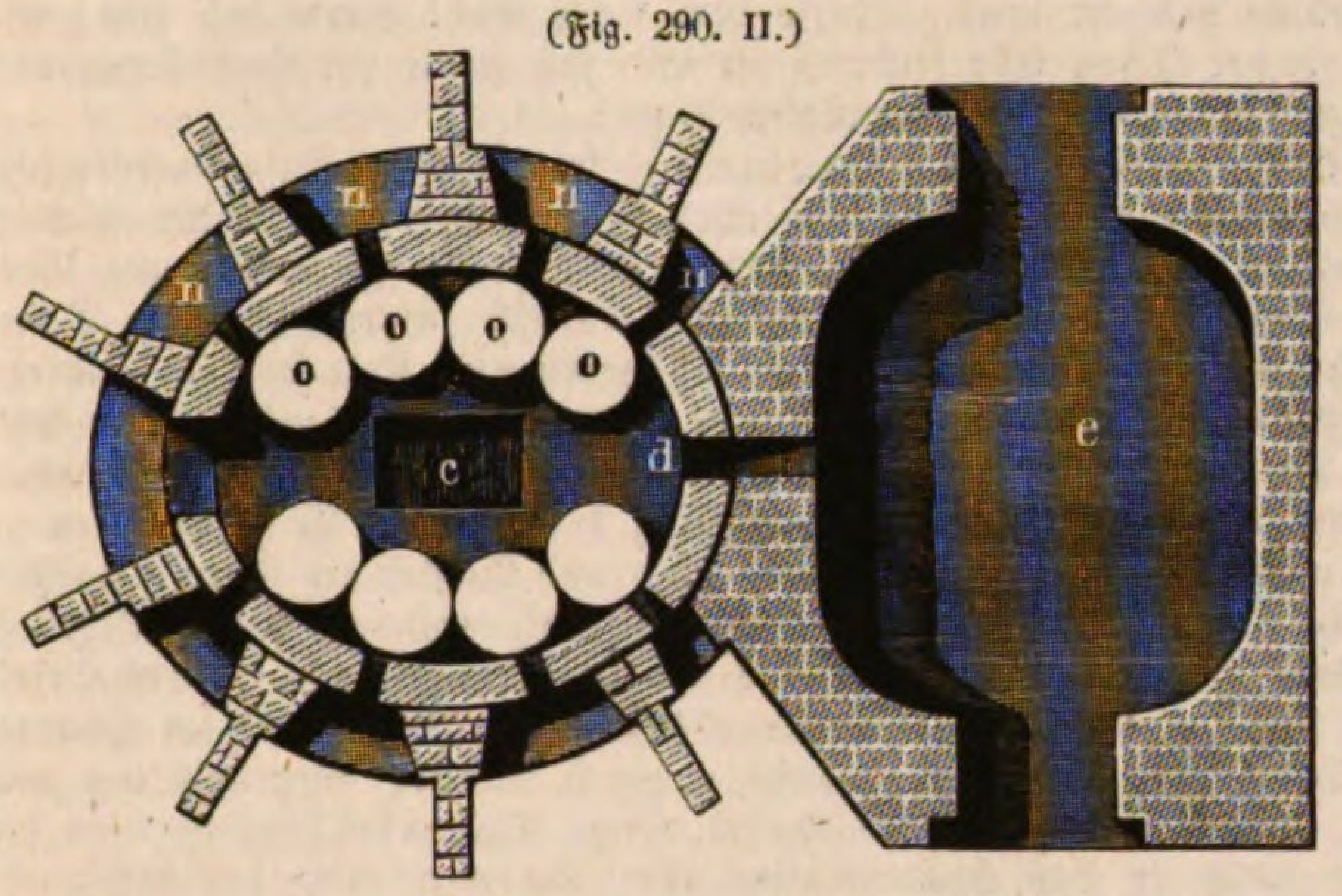
Alle erwähnten Materialien müssen vor der Verwendung gepulvert und innig gemischt werden, wobei nicht zu übersehen ist, daß in der Hitze des Glasofens sich ein Theil der Alkalien verflüchtigt, und somit für die Bildung des Glases verloren geht. Hierauf schreitet man zum Schmelzen des Glases in den **Glasöfen**, deren Einrichtung aus Figur 290 (I. und II.) hervorgeht. Der Ofen, hier rund, häufig aber auch viereckig construirt, ist von einem Gewölbe a überdeckt, welches die aus dem Feuerraume b durch die Oeffnung c aufsteigende Flamme in ihrer Wirkung unterstützt, indem die Wärme reflectirt wird. Die heißen Gase ziehen nicht durch eine Esse, sondern durch den Canal d in den Nebenofen e, welcher zur Vorberei-

Der Glasofen.

(Fig. 290. I.)



(Fig. 290. II.)



tung der Materialien, häufig auch als Kühlofen u. s. w. benutzt wird. Nicht selten sind mehrere Nebenöfen angebracht. Eine aus feuerfesten Steinen construirte Erhöhung i, die Bank, nimmt die aus Thon angefertigten, tiegelartigen Schmelzgefäße, die Glashäfen o, auf, in welche der Glassatz durch die Arbeitsöffnungen n eingetragen wird. Sobald die Masse geschmolzen und die etwa sich darüber ansammelnden Unreinigkeiten abgeschöpft wurden, läßt man die Temperatur im Ofen soweit sinken, daß die Glasmasse hinreichend zähflüssig wird, um sich durch Ausblasen und ähnliche Operationen formen zu lassen. Zu diesem Behufe holt der Arbeiter durch die Oeffnungen n die flüssige Glasmasse heraus und kann sie, falls das Glas vor Beendigung des Geräthes schon erstarrte, durch die Arbeitsöffnung wieder im Ofen entsprechend anwärmen. Da zu rasches Abkühlen die Glastheilchen in einem gewissen Zustande der Spannung erhält, wodurch bei späterem schnelleren Temperaturwechsel leicht ein Zerspringen des Glases veranlaßt wird, muß das fertige Glas in beheizten Räumen, die erst allmälig abkühlen, den sogenannten Kühlöfen, längere Zeit verweilen. Zur Vervollständigung mag hier die Zusammensetzung einiger wichtigerer Glassorten mitgetheilt werden. Englisches Crownglas entspricht nahezu der Formel: $3KO, 5SiO_3 + 3CaO, 5SiO_3$; schönes böhmisches Krystallglas ist: $2KO, 5SiO_3 + 2CaO, 5SiO_3$; Tafelglas aus Frankreich: $3NaO, 4SiO_3 + 3CaO, 4SiO_3$; französisches Spiegelglas: $4(NaO, 2SiO_3) + CaO, 2SiO_3$; französisches Krystallglas, Bleiglas: $KO, 2SiO_3 + PbO, 2SiO_3$. Glassorten.

Luxusgläser werden bekanntlich sehr häufig gefärbt, wozu meistens Metalloxyde dienen, von deren Fähigkeit, Gläser zu färben, schon bei Borax die Rede war. Man färbt mit Kobaltoxydul blau, mit Chromoxyd und Kupferoxyd grün, mit Kupferoxydul oder Gold roth, mit Uranoxyd gelb u. s. w. Ein Zusatz von phosphorsaurem Kalk macht das Glas trübe, durchscheinend (Beinglas). Zinnoxyd macht das Glas undurchsichtig und wird bei der Herstellung der sogenannten Email verwendet. Die Smalte, bekanntlich ein blaues Farbmaterial, ist durch Kobaltoxydul blaugefärbtes Kaliglas, welchem aber kein Kalksalz beigemengt ist. Smalte. Schmilzt man 10 Theile kohlensaures Kali mit 15 Theilen Quarz zusammen, so erhält man das sogenannte Wasserglas, welches nach der Formel: $3KO, 8SiO_3$ zusammengesetzt ist und nach längerem Kochen mit Wasser sich darin löst; so eine Flüssigkeit bildend, welche als Anstrich, namentlich bei leicht entzündlichen Gegenständen, da es einen gleichförmigen Ueberzug bildet, eine zweckmäßige Anwendung findet. Wasserglas.

Während das Glas ausschließlich eine industrielle Bedeutung hat, ist eine andere Art von Silikaten, nicht nur ihrer vielseitigen technischen Verwendbarkeit wegen, sondern auch des großen Einflusses halber, welchen sie auf die Entwickelung der Pflanzen ausübt, von unermeßlicher Bedeutung. Es ist dies der Thon in seinen zahlreichen Modificationen. Die Entstehung dieses Naturproductes läßt sich sammt seinen Eigenschaften am besten an dem reinsten bekannten Thon, dem sogenannten Porzellanthon, beobachten. Dieser ist farblos. Mit Wasser zusammengebracht, liefert er einen bildsamen plastischen Brei, welcher sich durch passende mechanische Behandlung in die verschiedensten Formen bringen läßt. Nach dem Austrocknen hat sich die Masse gleichförmig zusammengezogen, ohne zu reißen, wenn nicht Wärme angewendet wurde. In diesem Zustande zeigt der Thon noch alle seine ursprünglichen Eigenschaften und giebt mit Wasser neuerdings den zähen plastischen Brei. Wird er aber bis zu starkem Glühen erhitzt, so entweicht nicht nur das hygroskopische Wasser, sondern auch solches, welches chemisch gebunden im Thon vorhanden gewesen; die Theilchen desselben ziehen sich merklich zusammen (der Thon schwindet), backen aber zugleich so fest aneinander, daß nun eine zusammenhängende, feste poröse Masse (der gebrannte Thon) entstanden ist. Welche umfassende Anwendung von dieser Eigenschaft des Thons zur Anfertigung Thon.

der verschiedensten Geräthe gemacht wird, dürfte dem Leser wohl erinnerlich sein; wir fügen noch hinzu, daß reiner Thon sehr feuerfest ist und sich somit zur Herstellung von Ofenwänden, Schmelzgefäßen und dergl. vorzüglich eignet.

Entstehung des Thons.

Die Lagerstätten des Porzellanthons (Kaolin's), sowie seine Zusammensetzung, geben uns über die Entstehung desselben hinreichenden Aufschluß. Man findet nämlich den Thon nicht selten über dem Material aufliegend, welches zu seiner Bildung Veranlassung gab, und dieses sind der Feldspath oder ähnlich zusammengesetzte Mineralien. Der Feldspath stellt ein Doppelsilikat von Thonerde und Kali vor, in anderen Arten des Feldspaths findet sich Natron, zudem nicht selten Eisenoxyd und andere Verunreinigungen. Obwohl diese Mineralien scheinbar gegen die kräftigsten chemischen Agentien sich indifferent verhalten und der Einwirkung der stärksten Mineralsäuren zu widerstehen vermögen, unterliegen sie dennoch, falls Luft und Wasser zu ihnen gelangen können, allmälig durch Vermittelung der allverbreiteten Kohlensäure einer Zersetzung, welche damit endigt, daß das Alkali größtentheils als kohlensaures und saures kieselsaures Salz mit dem Wasser fortgeht, während abgeschiedene Kieselsäure im Hydratzustande und basisch kieselsaure Thonerde, welche zugleich Wasser aufgenommen und chemisch gebunden hat, zurückbleiben. Dieses wasserhaltige Thonerdesilikat ist eben der Thon. Beim Brennen giebt er das Hydratwasser ab. Da nun aber den feldspathartigen Mineralien sehr häufig auch andere Silikate beigemengt sind, deren Verwitterung langsamer vorschreitet, da ferner die Substanzen, aus welchen der Thon entstand, diesem zum Theil noch unverändert beigemengt sein können, auch in sehr vielen Fällen der Thon von seinen ursprünglichen Lagerstätten weggeschwemmt, auf seinem Wege mit anderen Stoffen mechanisch gemengt und dann wieder abgelagert worden ist, so erklärt sich daraus die große Verschiedenheit, welche wir bei den unreineren Thonsorten nicht nur hinsichtlich ihres Aussehens, sondern bezüglich ihrer Bildsamkeit, Feuerbeständigkeit u. s. w. wahrnehmen können. Die braune Farbe vieler Thonsorten rührt von Eisen- und Manganoxyd her. Diese Basen, sowie ein merklicher Gehalt an Alkalien oder Kalk, der sich häufig dem Thon als kohlensaures Salz mechanisch beigemengt findet, machen den Thon leicht schmelzbar. Viel fremde Beimengungen stimmen die Plasticität desselben herab.

Ackerboden.

Die Bildung des Thons geht unaufhörlich an vielen Stellen der Erdoberfläche vor sich und dadurch wird dem circulirenden Wasser beständig lösliches Alkalisalz dargeboten. Jeder Boden, auf welchem Pflanzen gedeihen, enthält Thon und meistens noch reichlich Trümmer von Mineralien, die ihn bei fortschreitender Verwitterung neuerdings liefern können, wobei die den Pflanzen nöthigen Alkalien in einem assimilirbaren Zustande frei werden. Abgesehen von dieser sehr wichtigen Funktion, ist der Thon für die Entwickelung der Pflanzen noch in so fern von großer Bedeutung, als er im hohen Grade die Fähigkeit besitzt, kohlensaures Ammoniak und Wasser, zwei Hauptfactoren für die Bildung der organischen Stoffe in den Pflanzen, zu absorbiren und kräftig zurückzuhalten.

Thonwaaren.

Wenden wir uns zur Benützung des Thons bei Herstellung der sogenannten Thonwaaren, so mag angeführt werden, daß diese sich in zwei große Gruppen theilen lassen. Die erste umfaßt jene Produkte, deren Masse nicht porös, sondern dicht, halbgeflossen, hart und klingend ist. Hierher gehören das Porzellan und Steinzeug. Die zweite Gruppe umfaßt die porösen Thonwaaren, die man, falls sie Flüssigkeiten aufnehmen sollen, mit einem glasartigen Ueberzug, der Glasur, versieht.

Porzellan.

Das Porzellan zeichnet sich vor allen übrigen Thonwaaren dadurch aus, daß es durchscheinend ist, eine große Härte, Farblosigkeit, und bedeutende Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturveränderungen zeigt, welche bei ordinären Waaren leicht ein Zerspringen derselben veranlassen. Man verfertigt das Porzellan aus dem oben erwähnten Kaolin, dem man etwas Feldspath zusetzt, welcher in der starken Hitze des Porzellanofens schmilzt und mit dem Thon die halb geschmolzene durchscheinende Masse liefert, welche eben das Porzellan charakterisirt. Diese Bestandtheile der Porzellanmasse werden zunächst möglichst fein gemahlen und geschlämmt, dann in den erfahrungsmäßig ausgemittelten Verhältnissen innig gemischt, von dem reichlich vorhandenen Wasser durch sehr allmäliges Austrocknen so weit befreit, daß der Rückstand bildsam ist, dann geformt, und nachdem die so vorbereiteten Geräthe ausgetrocknet sind, vorerst in einer minder heißen Abtheilung des Porzellanofens gebrannt, wobei der Thon die oben erwähnte Beschaffenheit erhält und porös geblieben ist. Man nennt das so vorbereitete Porzellan Biscuit. Um die Gefäße hierauf mit einem glasartigen glatten Ueberzug versehen zu können, taucht man die Masse nun in Wasser, worin sich ein fein geschlämmtes Gemenge von Kaolin, Feldspath und etwas Gyps schwebend befindet, welches beim

Brennen vollkommen schmilzt, während die eigentliche Porzellanmasse nur in einen weichen halbgeflossenen Zustand übergeht. Dann wird wieder getrocknet, man setzt endlich die so vorbereiteten Geräthe in Kapseln aus feuerfesten Thon, schichtet diese in den Porzellanofen und schreitet hierauf zum Beheizen desselben. Der Porzellanofen besteht aus 2 bis 3 über einander gestellten gewölbten Kammern, worin sich eben die Kapseln befinden, und wird durch mehrere neben dem Ofen befindliche Feuerungen beheizt. Die Flamme zieht durch zahlreiche Kanäle in den Ofen, vertheilt sich dort zwischen den passend eingeschichteten Kapseln und wird in ihrer Richtung noch geregelt durch viele Kanäle, welche, in dem Gewölbe des Ofens angebracht, die heißen Gase gleichzeitig in das zweite Stockwerk bringen, wo gewöhnlich das Biscuitbrennen vor sich geht. Anfangs wird gelinder gefeuert, später aber heftig, wobei dann das Zusammensintern der Porzellanmasse, wie das Glattschmelzen der Glasur endlich vor sich geht. Um das Porzellan mit Farben zu verzieren, dienen ebenfalls die oben erwähnten färbenden Metalloxyde, die man, wo es angeht, gleich unter der Glasur aufträgt, oder, falls die hohe Temperatur des Ofens die Farbe verändern würde, wird, nachdem das Geräthe fertig gebrannt ist, das färbende Oxyd, mit leicht schmelzbarem Bleiglas gemengt, aufgetragen und nachträglich in gelinderer Hitze aufgeschmolzen.

Man findet nicht selten gefärbten sehr plastischen Thon, der beim Brennen ebenfalls eine halbgeflossene Masse liefert, welche aber zum Unterschiede von Porzellan nicht durchscheinend ist. Aus solchem Thon verfertigt man das Steinzeug, Steingut, in verschiedenen Qualitäten und Abänderungen. Es bedarf natürlich, da es nicht porös ist, keiner Glasur und wird gewöhnlich in Oefen gebrannt, deren Einrichtung an die der Flammenöfen erinnert und welche im Gegensatze zu den stehenden Porzellanöfen liegende Oefen heißen. Unter Fayence versteht man poröse, mit einer Glasur versehene Thonwaare. Als Glasur dient in allen Fällen ein leicht schmelzbares Bleiglas, welches fein gepulvert und im Wasser suspendirt in ähnlicher Weise auf dem gebrannten Geräthe befestigt wird, wie die Glasurmasse des Porzellans. Ist der dazu verwendete Thon nach dem Brennen farblos, so nimmt man eine durchsichtige Glasur und erzeugt dergestalt feine Fayencewaare. Häufig ist der Thon nach dem Brennen, wegen reichlicherer Beimengung von Eisenoxyd, gelb oder bräunlich, und dann setzt man der Glasurmasse Zinnoxyd zu, welches, wie oben erwähnt, den glasigen Ueberzug undurchsichtig macht und somit die Mißfarbe verdeckt. Man nennt derlei Fayence ordinär. Steinzeug. Fayence.

Bei der gewöhnlichen Töpferwaare fällt die Rücksicht auf die Farbe des Thons völlig weg. Man gibt derselben die Glasur durch Aufstreuen von Bleiglätte auf das noch feuchte geformte Geräthe und brennt somit Thon und Glasur gleichzeitig, indem das Bleioxyd auf der Oberfläche mit den Bestandtheilen des Thons ein leicht schmelzbares Glas liefert. Die Backsteine und Ziegel endlich werden aus dem gewöhnlichsten, meist reichlich mit kohlensaurem Kalk und anderen fremden Beimengungen gemischten Thon, dem sogenannten Lehm, geformt und je nach seiner Beschaffenheit bei stärkerer oder geringerer Hitze gebrannt. Je feiner die Thonwaare ist, um so mehr Aufmerksamkeit verwendet man auf die Vorbereitung des Materials durch Mahlen, Schlämmen, Beseitigung von beigemengten Steinchen u. s. w. Backsteine.

Manche Kalksteine besitzen die Eigenschaft, daß sie, wenn man sie brennt, nachher feinpulvert und mit Wasser zu einem Brei anmacht, unter Wasser zu einer festen unlöslichen Masse erhärten. Solche Kalksorten sind ein vortreffliches Material bei Herstellung von Wasserbauten. Man nennt Kalk von der erwähnten Beschaffenheit hydraulischen Kalk. Seine Wirksamkeit beruht auf der Anwesenheit einer gewissen Menge freier oder als Thon vorhandener Kieselsäure, die bei dem Brennen eine solche Veränderung erfährt, daß sie, nach dem Zusammentreffen mit Wasser, sich mit dem Kalk zu einem Silikat vereinigt, welches seinerseits noch Wasser aufnimmt und dabei zu einer festen Masse erstarrt. Mancher in dem Verkehre vorfindliche hydraulische Kalk wird dadurch erzeugt, daß man reinen Kalkstein innig mit Thon von passender Beschaffenheit mischt und nachher brennt. Auch finden sich in der Natur Produkte vulkanischen Ursprungs, welche Kieselsäure in einem solchen Zustande enthalten, daß sie mit gelöschtem, gutem Kalk gemischt, diesen hydraulisch macht. Derlei Produkte werden Cemente genannt. Indessen wenden die Franzosen und Engländer den letzteren Namen auch auf die eigentlichen hydraulischen Kalke an. Die Puzzolanerde ist ein Cement, welches schon die Römer bei Herstellung ihrer Wasserbauten benutzten. Hydraulischer Kalk.

Die Erze

führen, wie wir schon oben andeuteten, vorwiegend die schweren Metalle. Diese finden sich darin theils an Sauerstoff, theils an Schwefel und Arsenik gebunden vor; endlich trifft man unter ihnen auch gediegene Metalle. Dies gilt namentlich von den sogenannten edlen Metallen, welche diesen Namen ihrer geringen Verwandtschaft zu den Metalloiden verdanken, weshalb sie von Sauerstoff und andern ähnlichen Elementen wenig oder gar nicht verändert werden und daher sich zur Herstellung von Münzen, Luxusgeräthen u. dgl. weit besser eignen als die unedlen Metalle, welche der Einwirkung von Luft und Feuchtigkeit nicht widerstehen, sich wenigstens oberflächlich oxydiren und dabei Farbe und Glanz einbüßen. Wir wollen die edlen Metalle später etwas näher betrachten. Einige derselben lassen sich als wichtige Nutzmetalle bezeichnen, unter welchem Namen wir jene Metalle zusammenfassen, welche im unverbundenen metallischen Zustande einer ausgedehnten Benutzung fähig sind. Als Nutzmetall in diesem Sinne übertrifft alle übrigen edlen und unedlen Metalle weitaus das

Eisen,

über dessen Verbreitung wir schon oben einige Andeutungen gegeben haben. Die Bedeutung des Eisens wird erhöht durch den Umstand, daß es auch für die Pflanzen und Thiere unentbehrlich erscheint. Außerdem spielen manche seiner Verbindungen bei der chemischen Veränderung der festen Erdrinde eine wichtige Rolle. Trotzdem ist das gediegene Eisen, welches wir auf der Erde antreffen, höchst wahrscheinlich ausschließlich als Meteoreisen auf unsere Erde gelangt, und das von einigen Seiten behauptete Vorkommen von gediegenem Eisen tellurischen Ursprungs ist noch sehr zweifelhaft. Daraus läßt sich schon erschließen, daß das auf der Erde vorfindliche gediegene Eisen einen verschwindend kleinen Bruchtheil jener kolossalen Massen vorstellt, welche uns die Natur in Form von Eisenverbindungen darbietet. Ohne Zweifel war die erste Kenntniß über das Eisen und seine Verwendbarkeit an das Vorkommen von Meteoreisen geknüpft, und erst später lernte man Eisen aus seinen Erzen gewinnen. Das Eisen war übrigens mehren alten Culturvölkern bekannt und bei ihnen im Gebrauche. Das Eisen des Verkehrs ist nie rein, sondern enthält immer etwas Kohlenstoff, zuweilen auch, obwohl in geringerer Menge, Silicium, Schwefel und Phosphor. Reines Eisen ist weiß, krystallinisch-körnig und hat ein spec. Gew. von 7,8. Seine große Anwendbarkeit verdankt das Metall seiner Härte, Dehnbarkeit und Zähigkeit. Letztere beiden Eigenschaften werden durch Temperaturerhöhung gesteigert, weßhalb man das Metall bekanntlich beim Bearbeiten gewöhnlich zum Glühen erhitzt. In der Weißgluth zeigt das Eisen noch eine weitere sehr wichtige Eigenschaft. Es wird nämlich schweißbar, d. h. es geht in einen klebrigen Zustand über, welcher gestattet, zwei oder mehrere Eisenstücke durch einen Druck oder Schlag zu völlig zusammenhängenden Massen zu vereinigen. Das Eisen läßt sich bekanntlich magnetisch machen. Dieß gilt besonders von kohlenstoffhaltigem Eisen, wie Stahl. Viel leichter läßt sich reines Eisen in unzusammenhängendem pulverförmigem Zustand herstellen und zwar, indem man über schwach glühendes Eisenoxyd Wasserstoffgas leitet, welches Wasser bildet, während unverbundenes Eisen als ein sehr feines schwarzes Pulver zurückbleibt. Bringt man dieses an die Luft, so entzündet

es sich und verglimmt zu Eisenoxyd. Die Fähigkeit, in gewöhnlicher Temperatur an der Luft sich zu entzünden, welche wir auch bei anderen Körpern, obwohl selten, wahrnehmen, beruht hauptsächlich auf der feinen Vertheilung derselben. Wir nennen derlei Körper Pyrophore. Die Verwandtschaft des Eisens zu Sauerstoff ist sehr groß. Wir kennen drei Oxydationsstufen dieses Metalls: das Eisenoxydul FeO, Eisenoxyd Fe_2O_3 und die Eisensäure FeO_3. Zudem vereinigen sich Oxydul und Oxyd zu einer sogenannten intermediären Oxydationsstufe, dem Eisenoxyduloxyd: $Fe_3O_4 = FeO,Fe_2O_3$. Das Eisenoxydul kennen wir nur in seinen Salzen oder als Hydrat. Es zeigt nämlich eine so große Neigung, weiterhin Sauerstoff aufzunehmen, daß es sich unverändert und unverbunden nicht herstellen läßt. Es entsteht unter Wasserstoffentwicklung und gleichzeitiger Bildung der entsprechenden Salze bei Einwirkung verdünnter Sauerstoffsäuren auf Eisen. Versetzt man die Lösung eines dieser Salze mit Kalihydrat, so scheidet sich Eisenoxydulhydrat FeO,HO ab, welches sogleich, falls die Luft nicht völlig abgeschlossen ist, Sauerstoff aufnimmt und, indem es sich zunächst blaugrün färbt, in Eisenoxyduloxydhydrat, später in Eisenoxyd übergeht. Auch in den Salzen behauptet das Eisenoxydul die Fähigkeit, sich höher zu oxydiren und verwandelt sie allmälig in basische Eisenoxydsalze. Die wasserhaltigen Salze des Eisenoxyduls sind grün und liefern auch eine solche Lösung. Im wasserfreien Zustande sind sie aber weiß.

Oxydationsstufen des Eisens.

Das Eisenoxyd findet sich natürlich als Eisenglanz im wasserfreien Zustande. Durch Glühen von Eisenoxydhydrat läßt es sich künstlich erhalten, auch bleibt es bei starkem Erhitzen von salpetersaurem oder schwefelsaurem Eisenoxyd unverbunden zurück. Je nach dem Grade der Vertheilung und der bei seiner Darstellung angewendeten Temperatur ist es von dunkelbraun bis rothbraun und violett in mancherlei Abstufungen gefärbt. Läßt man Eisenoxydulhydrat an der Luft allmälig oxydiren, so erhält man das rothbraune flockige Eisenoxydhydrat: $Fe_2O_3,3HO$, welches allmälig unter Wasserabgabe selbst in gewöhnlicher Temperatur in $2Fe_2O_3,3HO$ übergeht. Werden in Wasser gelöste Eisenoxydsalze durch Kali und andere starke Basen zersetzt, so scheidet sich ebenfalls Oxydhydrat ab, aber mit basischen Salzen gemengt. Der Eisenrost ist auch Oxydhydrat. Brauneisenstein, Bohnerz, Sumpferz bestehen der Hauptmasse nach aus Eisenoxydhydrat und bilden in ihren verschiedenen Varietäten gleich dem Eisenglanze wichtige Eisenerze. Der chemische Charakter des Eisenoxyds gleicht dem der Thonerde; es ist eine schwache Base, zeigt große Neigung, basische Salze hervorzubringen und bildet wasserhaltige braune im wasserfreien Zustande aber farblose Salze. Das Eisenoxyduloxyd, durch Glühen von Eisen in Wasserdampf als ein schwarzer Ueberzug des Metalles leicht zu erhalten, tritt natürlich als Magneteisenstein auf und ist als solcher ein wichtiges Eisenerz. Von der Eisensäure kennen wir kaum mehr als die Formel und das Kalisalz, welches bei heftigem Glühen von Eisenoxyd mit Salpeter entsteht und mit Wasser eine kirschrothe Lösung liefert. Weißglühendes Eisen vereinigt sich rasch und lebhaft mit Schwefel zu einfach Schwefeleisen FeS, von welchem man auch Spuren in Meteorsteinen angetroffen hat. Es bildet eine dunkelgelbe krystallinische Masse von metallischem Aussehen, welche in den Laboratorien zur Entwicklung von Schwefelwasserstoff dient. Wird die Lösung eines Eisenoxydulsalzes mit Schwefelkalium oder Schwefelammonium versetzt, so entsteht durch Doppelzersetzung einfach Schwefeleisen, welche sich wasserhaltig als ein schwarzes Pulver abscheidet. Natürlich

Schwefeleisen.

trifft man als Verbindung des Schwefels mit Eisen den Magnetkies Fe_7S_8 und das zweifach Schwefeleisen FeS_2. Letzteres in zwei Modificationen, als Schwefelkies nämlich und Strahlkies; ersterer ist viel häufiger und wird, wie erwähnt, zur Gewinnung von Schwefel benutzt (siehe Seite 513), ebenso zur Darstellung von schwefelsaurem Eisenoxydul, indem beim Rösten des Kieses an der Luft dieser durch Sauerstoffaufnahme unter Entwicklung von schwefliger Säure in das genannte Salz übergeht. Beim Strahlkies findet diese Oxydation schon in gewöhnlicher Temperatur statt, so daß von diesem Mineral durchdrungene Erze nach einigem Lagern an der feuchten Luft reichlich Eisenvitriol enthalten. Kommt luftführendes Wasser mit dem Strahlkies zusammen, so tritt es als eisenvitriolführendes Grubenwasser zu Tage. Läßt

Chloreisen. man gasförmige Chlorwasserstoffsäure über glühendes Eisen streichen, so überzieht sich das Metall unter gleichzeitiger Entwicklung von Wasserstoff mit weißem lockerem Eisenchlorür FeCl, welches mit Wasser eine grüne Lösung bildet und aus dieser in grünen wasserhaltigen Krystallen sich abscheidet. Die direkte Vereinigung von Chlor mit erwärmtem Eisen führt zur Bildung des Eisenchlorids, einer grün schillernden, schuppig krystallinischen flüchtigen Masse, die sich leicht im Wasser zu einer lichtbraunen Flüssigkeit löst.

Kohlensaures Eisenoxydul. Von den Eisenoxydulsalzen ist das natürlich als Spatheisenstein vorkommende kohlensaure Eisenoxydul von Bedeutung, da es ein sehr wichtiges Eisenerz vorstellt. Das schwefelsaure Eisenoxydul, der Eisenvitriol, kömmt hie und da natürlich vor.

Eisenvitriol. Ueber seine Entstehung bei Einwirkung von Schwefelsäure auf Eisen, sowie durch Oxydation des Schwefelkieses, haben wir schon oben berichtet. Das Salz löst sich im Wasser ziemlich leicht, krystallisirt daraus in bläulich grünen Krystallen, welche 7 Atome Krystallisationswasser enthalten, läßt sich übrigens auch mit anderem Wassergehalte herstellen und findet eine sehr vielseitige technische Verwendung in der Färberei, zum Conserviren des Holzes, bei Reinigen des Leuchtgases, Desinficiren von Aborten und wird deßhalb im Großen durch Rösten oder Verwittern des Schwefelkieses und Auslaugen des Produktes, sowie schließlich Eindampfen und Krystallisirenlassen der so erhaltenen Lösung gewonnen. So umfassend die Benutzung mancher Eisenverbindungen auch sein mag, so läßt sie sich doch in keiner Weise mit der Verwendung des unverbundenen Metalles vergleichen.

Mangan. Das Mangan, von dem wir schon oben erzählten, daß es ein, nahezu steter, Begleiter des Eisens ist, findet sich nie gediegen in der Natur und hat auch im metallischen Zustande wenig Bedeutung, da eine Verwendung desselben bis jetzt noch nicht versucht wurde. Man kann es am besten durch Reduction von Chlormangan mit Natrium darstellen. Es ist sehr strengflüssig grauweiß, krystallinisch und spröde, hat ein sp. G. von 8,2, einen schwachen Metallglanz und oxydirt sich ungemein leicht. Mit Sauerstoff verbindet es sich in mannigfachen Verhältnissen. Das Manganoxydul MnO ist eine kräftige Basis und liefert mit Säuren rosenrothe Salze, welche mit den entsprechenden Eisenoxydulsalzen isomorph sind. Der als Mineral vorkommende Hausmannit ist Manganoxyduloxyd Mn_3O_4, der Braunit ist wasserfreies Manganoxyd Mn_2O_3 und der Manganit ein Hydrat desselben. Das Manganoxyd zeigt den Charakter eines Superoxyds. Dies gilt noch im höheren Grade vom Mangansuperoxyd MnO_2, welches als Braunstein natürlich vorkömmt und die vielfältigste technische Verwendung findet. Alle diese genannten Verbindungen lassen sich auch künstlich herstellen. Wird

Manganoxyd oder Superoxyd mit Salpeter zusammengeschmolzen, so erhält man mangansaures Kali, welches eine grüne Lösung liefert. Die Mangansäure MnO_3 läßt sich nicht isoliren, denn setzt man dem Salze eine stärkere Säure zu, so zerlegt sich erstere gleich in Mangansuperoxyd und Uebermangansäure: Mn_2O_7. Die Uebermangansäure ist purpurroth und liefert ebenso gefärbte Salze.

Chrom. Dem Mangan und Eisen schließt sich das Chrom an, welches nur spärlich auftritt; in größter Menge noch als Chromeisenstein eine Verbindung von Chromoxyd mit Eisenoxydul. Das isolirte Metall ist sehr spröde, strengflüssig und bietet weiter nichts Bemerkenswerthes dar. Von seinen Sauerstoffverbindungen entspricht das Chromoxydul CrO in vielen Beziehungen dem Eisenoxydul und liefert blaue Salze. Das Chromoxyd Cr_2O_3, welches mit Eisenoxyd isomorph, ist lebhaft grün und dient zum Färben von Glasflüssen. Von seinem Hydrat kennt man mehrere Modificationen, eine grüne, eine graue und eine violette, ebenso vermag das Chromoxyd verschiedene Salze hervorzubringen, von denen eine Reihe grün und unkrystallisirbar, eine andere violettblau, eine dritte roth ist. Die Chromsäure CrO_3 entspricht der Mangan- und Eisensäure, ist aber viel constanter als diese. Sie findet sich an Bleioxyd gebunden in dem Rothbleierz der Mineralogen. Wenn man sie aus einem gelösten Salze durch überschüssige Schwefelsäure abscheidet, so erhält man sie in prachtvoll rothen kleinen Krystallen, die sich sehr leicht im Wasser lösen. Die Säure wirkt auf viele Stoffe mächtig oxydirend, wobei sie in Chromoxyd übergeht. Die Salze der Chromsäure sind mit denen der Schwefel- und Selensäure isomorph und gelb, roth oder braunroth gefärbt. Das saure Kalisalz bildet einen Handelsartikel. Man erzeugt es durch Schmelzen von Chromeisenstein mit Salpeter, wobei zunächst neutrales Salz entsteht, welches auf Zusatz von Salpetersäure in das saure Salz übergeht. Dieses scheidet sich beim Verdampfen der Flüssigkeit in wasserfreien hellrothen Krystallen ab. Das neutrale chromsaure Kali ist hellcitronengelb. Das künstlich dargestellte chromsaure Bleioxyd ist gleichfalls gelb und findet, wie andere chromsaure Salze, als Farbmaterial Anwendung. Die mannigfaltigen Farben, welche die Chromverbindungen darbieten, waren eben die Veranlassung, daß das Metall, welches von Vauquelin zu Ende des vorigen Jahrhunderts entdeckt wurde, seinen Namen (von *χρομος* Farbe) erhielt.

Kobalt und Nickel. Kobalt und Nickel zeigen ebenfalls viele Aehnlichkeit mit Eisen und sind in ihrem Vorkommen unzertrennliche Gefährten. Sie verdanken ihren Namen dem Umstande, daß in den böhmisch-sächsischen Bergbauen ihre Erze, deren einige große Aehnlichkeit mit Kupfererzen haben, sich als für die Gewinnung des genannten Metalles untauglich erwiesen und für ein Werk boshafter Berggeister gehalten wurden. Erst im vorigen Jahrhundert wurden die beiden Metalle als selbstständig erkannt. Nickel findet sich gediegen im Meteoreisen, sonst treten diese beiden Metalle hauptsächlich als Schwefel- und Arsenverbindungen auf. Das Nickel liefert mit Kupfer und Zink eine weiße Legirung, welche unter dem Namen Packfong Verwendung findet. Das Kobalt benutzt man dagegen nicht im metallischen Zustande, während man das Kobaltoxydul beim Blaufärben von Glas, wie erwähnt, vielfältig verwendet. Das Hydrat des Nickeloxyduls NiO,HO ist apfelgrün und die Base liefert grüne Salze. Das Kobaltoxydulhydrat CoO,HO ist rosenroth und liefert rothe Salze.

Zink.

Das Zink wird hauptsächlich als Oxyd theils isolirt, theils in Gestalt von Salzen und als Schwefelzink (Zinkblende) angetroffen. Obwohl schon die Alten zinkhältige Legirungen darzustellen wußten, war das Metall doch sehr lange nicht bekannt. Erst gegen Ende des sechszehnten Jahrhunderts gelangte metallisches Zink aus China nach Europa und viel später lernte man es bei uns aus seinen Erzen gewinnen. Das reine Zink ist weich, in gewöhnlicher Temperatur spröde, zwischen 110 — 150^0 aber dehnbar, schmilzt in der Glühhitze und verflüchtigt sich beim Weißglühen. Es hat eine weiße Farbe, ein spec. Gew. von 7, einen großblättrigen krystallinischen Bruch und wurde auch in deutlicheren Krystallen des drei- und einaxigen Systems erhalten. An der Luft erhitzt verbrennt es zu Zinkoxyd, ZnO. Dieses ist in gewöhnlicher Temperatur weiß, beim Erhitzen färbt es sich aber gelb. Aus Zinkoxydsalzen scheidet Kalihydrat Zinkoxydhydrat ab, welches ebenfalls ein weißer pulverförmiger Körper ist. Er löst sich, so wie das wasserfreie Oxyd, in Kali- und Natronlauge reichlich auf. Das Zinkoxyd zeigt in seinen Salzen die größte Aehnlichkeit mit Bittererde und ist mit dieser auch isomorph. Eine andere Oxydationsstufe des Zinks ist nicht bekannt. Alle übrigen Verbindungen dieses Metalles entsprechen in ihrer Zusammensetzung dem Oxyd. Das Schwefelzink, natürlich als Zinkblende vorkommend, läßt sich künstlich wie Schwefeleisen erzeugen und ist weiß. Schwefelsaures Zinkoxyd, der Zinkvitriol, ZnO,SO_3, entsteht bekanntlich bei Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure auf das Metall und wird im Großen durch Rösten von Zinkblende und Auslaugen u. s. w. in ähnlicher Weise gewonnen, wie der Eisenvitriol aus dem Schwefeleisen. Er kristallisirt aus Wasser in farblosen Prismen mit 7 Atomen Krystallisationswasser und findet manche technische Verwendung.

Kadmium. In Schlesien, wo überhaupt reichlich Zink aus Galmey gewonnen wird, enthält letzterer auch Kadmiumoxyd, welches gleich dem Zinkoxyd reducirt, Kadmiumdämpfe liefert, die, flüchtiger, als das Zink selbst, sich zunächst reichlich verdichten, so daß die ersten Antheile des Destillates viel Kadmium enthalten. Aus diesem Materiale stellt man das reine Metall her, welches dehnbar und weich, leicht schmelzbar ist und ein spec. Gew. von 8,7 hat. Das Kadmium zeigt manche Aehnlichkeit mit Zink, sein wasserfreies Oxyd, CdO, ist rothbraun und dessen Hydrat farblos.

Zinn.

Den Uebergang von der eben besprochenen Gruppe der schweren Metalle zu denen der säure-bildenden vermittelt das Zinn, welches sich hauptsächlich als Zinnoxyd im Zinnsteine vorfindet. Aus letzterem wird das Metall durch ein reducirendes Schmelzen gewonnen, welches in seinen Einzelheiten nichts Bemerkenswerthes darbietet. Feines Zinn ist weich, dehnbar, hat eine bläulich weiße Farbe, starken Glanz, ein sp. G. von 7,3, schmilzt bei 228^0 und verflüchtigt sich in der Weißgluth. Mit Sauerstoff vereinigt sich das Metall zu Zinnoxydul SnO, Zinnsesquioxydul Sn_2O_3 und Zinnoxyd SnO_2. Das Oxydul zeigt sowohl für sich wie in seinen Salzen eine große Neigung, Sauerstoff aufzunehmen und in Zinnoxyd überzugehen. Die Salze desselben werden deßhalb nicht selten als Reductionsmittel verwendet. Das Zinnoxyd kann füglich auch Zinnsäure genannt werden, da

es zu den Basen größere Verwandtschaft als zu den Säuren zeigt. Man kennt es in zwei Modificationen, deren eine die sogenannte Metazinnsäure, welche bei Einwirkung von Salpetersäure auf Zinn entsteht, sich nur schwierig mit Säuren verbindet, während die durch Zersetzung von Zinnchlorid, $SnCl_2$, mittelst Kali erhaltene gewöhnliche Zinnsäure leichter Salze bildet. Die Verbindungen beider Zinnsäuren mit Basen sind verschieden. Behandelt man metallisches Zinn mit Salzsäure, so entsteht unter Entwicklung von Wasserstoff Zinnchlorür, SnCl, ein im Wasser lösliches, daraus mit 2 Atomen Krystallisationswasser sich abscheidendes Salz, welches unter dem Namen Zinnsalz in der Färberei verwendet wird und deßhalb auch Gegenstand der Darstellung im Großen ist. Mit Chlorgas vereinigt sich Zinn direkt zu Zinnchlorid, $SnCl_2$, einer farblosen Flüssigkeit, die bei 120° siedet und an der Luft dicke Nebel verbreitet. Die wässerige Lösung des Zinnchlorids läßt sich durch Behandlung des Metalls mit Königswasser herstellen und dient als sogenannte Zinncomposition ebenfalls in der Färberei. Die umfassendste Anwendung findet jedoch Zinn im metallischen Zustande, theils für sich zur Anfertigung verschiedener Geräthe, theils zur Herstellung von vielen wichtigen Legirungen. Es wird besonders rein in Indien (Malakka) und in England (Cornwall) gewonnen.

Von den vorzugsweise Säuren bildenden Metallen, Titan, Vanadin, Molybdän, Tantal, Niobium und Antimon ist letzteres das wichtigste. Es ist in der Natur ziemlich spärlich vertreten, findet sich aber in verhältnißmäßig sehr zahlreichen Verbindungen. Die wichtigste derselben ist das natürliche Schwefelantimon, das Grauspießglanzerz der Mineralogen, welches theils für sich Verwendung findet, theils zur Gewinnung des metallischen Antimons dient, von welchem man behufs der Herstellung verschiedener Legirungen insbesondere des Letternmetalls Gebrauch macht. Gewöhnlich findet die Darstellung des Antimonmetalls aus dem erwähnten Material durch Zusammenschmelzen mit Eisen statt. Letzteres äußert zum Schwefel eine größere Verwandtschaft, als das Antimon; es bildet sich demnach Schwefeleisen, welches sich über dem Metall ansammelt und nach dem Erkalten davon leicht getrennt werden kann. Uebrigens findet sich, obwohl höchst spärlich, gediegenes Antimon auch in der Natur. Das Metall ist sehr spröde und weich, zinnweiß, leicht schmelzbar und läßt sich in heftiger Glühhitze verflüchtigen. Es hat ein sp. G. von 6,72 und krystallisirt in Rhomboëdern. Obwohl mit Recht den Metallen zugesellt, zeigt das Antimon die größte Aehnlichkeit mit Arsen. Diese ergiebt sich namentlich aus der Fähigkeit des Antimons, mit Wasserstoff eine gasförmige Verbindung zu liefern, welche genau unter denselben Verhältnissen wie Arsenwasserstoff entsteht und mit diesem auch die meisten Eigenschaften theilt. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß außer dem Antimon kein anderes Metall mit Wasserstoff eine bekannte gasförmige Verbindung hervorbringt. Sauerstoff liefert mit Antimon das Antimonoxyd SbO_3, die antimonige Säure SbO_4 und die Antimonsäure SbO_5. Sie sind sämmtlich farblos, zeigen den Charakter schwacher Säuren und finden nur als Heilmittel Verwendung. Diese Richtung der Benutzung des Antimons und seiner Verbindungen machte sich vorwiegend zur Zeit der Jatrochemie, von der wir in der Einleitung gesprochen haben, geltend. Die verschiedensten Antimonpräparate wurden als Heilmittel benutzt, und es ist wohl kein Metall bekannt, welches in der Heilkunde je eine so wichtige Rolle gespielt hätte, wie eben das Antimon, welches die ältern Chemiker

Antimon.

meistens Spießglanz nannten. Auch jetzt noch ist die Bedeutung des Antimons als Heilmittel keineswegs verschwunden und manche Verbindungen desselben, wie namentlich der noch unten zu erwähnende Brechweinstein, haben eine große Bedeutung in der Medicin. Von dem dreifach Schwefelantimon, welches uns die Natur darbietet, kennt man auch eine künstlich herstellbare Modification, welche im Gegensatze zu dem dunkeln Grauspießglanzerze roth gefärbt ist, und von den alten Chemikern den Namen Mineralkermes erhalten hat. Dieser hatte seiner Zeit als Heilmittel eine sehr große Bedeutung und seine Bereitung wurde häufig sorgfältig geheim gehalten. Jetzt hat der Mineralkermes kaum mehr eine Stelle im Arzneischatze, doch wird eine andere Schweflungsstufe des Antimons, das fünffach Schwefelantimon, SbS_5, unter dem Namen Goldschwefel auch gegenwärtig noch häufig angewendet. Er ist schön hellroth. Mit Chlor liefert das Antimon 2 dem Oxyd und der Säure entsprechende Verbindungen.

Alle säure-bildenden Metalle der eben erwähnten Gruppe zerlegen wohl in starker Glühhitze das Wasser, allein bei Gegenwart von Säuren vermitteln sie eine solche Zerlegung nicht, dagegen wohl wegen ihrer Neigung, Säuren zu bilden, falls man sie mit Alkalihydraten zusammenschmilzt. Die nun zu besprechenden Metalle vermögen in keiner Weise mehr, Wasser zu zerlegen. Die vorletzte kleine Gruppe umfaßt die Metalle Wismuth, Blei, Kupfer und Quecksilber, welches letztere wieder den Uebergang zur Gruppe der edlen Metalle bildet, deren Charakteristik wir bereits oben gegeben haben.

Wismuth.

Das Wismuth findet sich ziemlich selten und zwar meistens nur gediegen. Im Alterthume war es nicht bekannt. Die Alchymisten kannten es bereits und nannten es meistens Markasit. Es ist weich, sehr spröde, leicht schmelzbar, weiß, krystallisirt in Rhomboëdern, hat ein spec. Gewicht von 9,79, verflüchtigt sich in der Weißgluth und verbrennt, an der Luft erhitzt, mit schwacher Flamme zu Wismuthoxyd, BiO_3. Dieses ist im wasserfreien Zustande citronengelb, als Hydrat aber weiß, es schmilzt sehr leicht und liefert mit Säuren farblose Salze. Diese zeigen die Eigenthümlichkeit, daß sie sich nur in freien Säuren unverändert lösen, durch Wasser aber in basische Verbindungen übergeführt werden, während das Wasser freie Säure aufnimmt, durch deren Vermittelung ein Theil des Salzes sich löst. Das sogenannte magisterium bismuthi ist basisch-salpetersaures Wismuthoxyd und dient als Heilmittel, während es früher auch wegen seiner blendenden Weiße als Schminke benutzt wurde. Zu dieser Anwendung eignete es sich aber wegen seiner Schädlichkeit nur wenig, abgesehen davon, daß es sehr leicht braun wird, wenn es in Berührung mit Schwefelwasserstoff gelangt, da sich dann dunkel gefärbtes Schwefelwismuth daraus bildet. Außer dem Wismuthoxyd kennt man noch ein Wismuthsuperoxyd von schwarzbrauner Farbe und die Wismuthsäure, deren Hydrat hellroth ist.

Blei.

Das Blei wird nur selten gediegen angetroffen, findet sich aber reichlich als Sauerstoffsalze, Haloidverbindungen namentlich aber in Gestalt von Schwefelblei. Es hat eine bläulich graue Farbe, ein specif. Gewicht von 11,44, ist weich, abfärbend, etwas dehnbar, schmilzt bei 300°, verflüchtigt

sich in der Weißgluth und überzieht sich an der Luft bald mit einer matten grauen Schicht von Bleisuboxyd. Mit Sauerstoff vereinigt es sich leicht. Man kennt drei Oxydationsstufen desselben, das Bleioxyd PbO, Bleisesquioxyd Pb_2O_3 und das Bleisuperoxyd PbO_2. Beim Erhitzen von salpetersaurem Bleioxyd oder bei allmäliger Oxydation des schmelzenden Metalls an der Luft erhält man das Bleioxyd als ein gelbes Pulver, welches in stärkerer Hitze schmilzt und beim Erkalten zu einer röthlich-braunen schuppig-krystallinischen Masse erstarrt, welche, beim Treiben des Silbers im Großen gewonnen, als Blei- oder Silberglätte in den Handel kömmt und allgemein als Material zur Darstellung anderer Bleiverbindungen benutzt wird. Das Hydrat des Bleioxyds ist weiß. Das Bleioxyd ist eine ziemlich kräftige Base, liefert mit den ungefärbten Säuren farblose Salze, hat eine große Neigung, basische Verbindungen hervorzubringen, deren eine große Anzahl bekannt ist, und wird durch Kohle und andere reducirende Substanzen sehr leicht in metallisches Blei zurückgeführt. Läßt man gelbes Bleioxyd bei einer Hitze, welche das Schmelzen desselben noch nicht veranlaßt, längere Zeit mit Luft in Berührung, so wird weiterhin Sauerstoff aufgenommen und es entsteht ein hellrother Körper, die sogenannte Mennige, welche, als Farbmaterial benutzt, meistens nach der Formel Pb_4O_5 zusammengesetzt ist, aber, falls man das Erwärmen möglichst lange fortgesetzt hat, die Zusammensetzung Pb_3O_4 erreicht. Wird Mennige mit verdünnter Salpetersäure erwärmt, so gibt sie Bleioxyd an diese ab und hinterläßt Bleisuperoxyd als ein dunkelflohbraunes Pulver, welches auch einen schwach sauern Charakter hat. Das Bleisesquioxyd ist ein rothgelbes, unkrystallinisches Pulver. Das Schwefelblei, PbS, findet sich als Bleiglanz natürlich. Es läßt sich durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Blei künstlich erhalten und ist dann grau, metallglänzend, leicht schmelzbar, nach dem Erkalten krystallinisch. Alle löslichen Bleiverbindungen werden durch Schwefelwasserstoff unter Bildung von Schwefelblei zerlegt, wobei dieses sich als ein unlöslicher, braunschwarzer pulverförmiger Körper abscheidet. Das Chlorblei, Hornblei, PbCl, am leichtesten durch Einwirkung von Bleioxyd auf Salzsäure zu erhalten, ist farblos, löst sich schwierig im Wasser, krystallisirt aus der heißen Flüssigkeit in glänzenden Nadeln, schmilzt leicht und liefert dann nach dem Erkalten eine durchscheinende hornartige Masse. Mit Bleioxyd zusammengeschmolzen erhält man basische gelbe Verbindungen (Kaßlergelb). Jodblei ist ebenfalls gelb und krystallisirt aus heißem Wasser in glänzenden Blättchen. Neutrales salpetersaures Bleioxyd, PbO,NO_5, krystallisirt aus wässeriger Lösung in Octaëdern und liefert, mit mehr Bleioxyd zusammengebracht, eine ganze Reihe basischer Salze. Wird ein gelöstes Bleioxydsalz mit kohlensaurem Alkali versetzt, so entsteht neutrales kohlensaures Bleioxyd, welches einen weißen Niederschlag bildet und natürlich als Weißbleierz vorkömmt. Eine Verbindung des neutralen Salzes mit Bleioxydhydrat, meistens nach der Formel $3(PbO,CO_2)+Pb,HO$ zusammengesetzt, ist das Bleiweiß, dessen Benutzung als Farbmaterial bekannt ist.

Bleioxyd.

Mennige.

Bleisuperoxyd.

Chlorblei.

Kohlensaures Bleioxyd.

Bleiweißfabrikation.

Diese vielseitige Verwendung von Bleiweiß verdankt dieses Material weniger seiner weißen Farbe, in welcher Hinsicht es von vielen anderen Kunstprodukten übertroffen wird, sondern seiner bedeutenden Deckkraft, hinsichtlich welcher es wieder von keiner anderen Substanz erreicht wird, falls es überhaupt passend dargestellt wurde. Unter

Deckkraft versteht man das Vermögen eines feingepulverten Körpers in einer dünnen Schicht auf einen Gegenstand aufgetragen, das Durchscheinen desselben zu verhindern. Dieses Auftragen geschieht selbstverständlich immer unter Vermittelung eines Bindemittels, meistens Firniß, welches nicht nur das gleichförmige Auftragen ermöglicht, sondern auch den Ueberzug befestigt. Die Erfahrung lehrt nun, daß, mag man das Bleiweiß für sich oder mit anderen pulverförmigen Substanzen gemengt zum Anstrich benutzt haben, es selbst in dünnen Schichten schon vollkommen deckt und von der damit überstrichenen Unterlage nichts durchscheinen läßt. Der Verbrauch von Bleiweiß ist aus diesem Grunde ein sehr bedeutender, trotzdem daß man mehrere ganz brauchbare Ersatzmittel dafür aufgefunden hat. Es wird an vielen Orten fabricirt, wobei man nach verschiedenen Methoden vorgeht.

Holländische Methode.

Das beste Produkt liefert das sogenannte holländische Verfahren. Das Princip desselben liegt in dem Verhalten von basisch-essigsaurem Bleioxyd gegenüber von Kohlensäure. Diese scheidet nämlich aus dem basischen Salze Bleiweiß von der oben angegebenen Zusammensetzung ab, während sich neutrales essigsaures Bleioxyd bildet. Ist dieses aber in Berührung mit metallischem Blei und findet Sauerstoff Zutritt, so wird das Blei disponirt, in Oxyd überzugehen und das neu entstandene Bleioxyd liefert nun wieder basisch-essigsaures Bleioxyd, welches bei Einwirkung von Kohlensäure neuerdings in Bleiweiß und neutrales essigsaures Bleioxyd zerfällt. Dieser Vorgang kann sich sehr oft wiederholen und findet auch statt, wenn das essigsaure Bleioxyd nicht in Lösung, sondern bloß im feuchten Zustande seine Wirkung auf Blei zu äußern Gelegenheit hat. Da nun die Essigsäure eine flüchtige Säure ist und, sobald sie in Dampfform mit Blei und Sauerstoff in Berührung kommt, die Bildung von Bleioxyd veranlaßt, welches sich mit der Essigsäure vereinigt und so zunächst neutrales, später, nach dem oben Gesagten, basisches essigsaures Bleioxyd liefert, so ist es klar, daß Bleiweiß entstehen muß, wenn man Blei der gleichzeitigen Einwirkung von Essigsäuredämpfen, Sauerstoff und Kohlensäure aussetzt, wobei man aber mit einer verhältnißmäßig geringen Menge von Essigsäure ausreicht, da das essigsaure Bleioxyd seine erörterte Wirksamkeit zu vielmals wiederholten Malen zu äußern im Stande ist. Das holländische Verfahren benutzt nun diese angedeuteten Verhältnisse in einer eigenthümlichen Weise. Nach demselben bringt man spiralförmig gewundene Bleiplatten in irdene, glasirte Töpfe. Diese haben Innen, auf etwa $1/3$ ihrer Höhe, passende Vorsprünge, auf die man die Bleispirale setzt, während man in den unteren Theil des Gefäßes Essig oder andere Essigsäure haltende Flüssigkeiten, wie z. B. sauer gewordenes Bier u. dgl., bringt. Diese sind demnach mit den Bleiplatten nicht in unmittelbarer Berührung. Solche Töpfe werden nun zu 6 — 8000 abwechselnd mit frischem Pferdedung, den man durch dazwischen gelegte Bretter zusammenhält, in Kammern eingeschichtet, die mit Doppelwänden versehen sind, welche man gleichfalls mit Pferdedung ausfüllt. Das Ganze ist so angeordnet, daß ungehindert Luft zutreten kann. Der Pferdedung geräth alsbald in eine Art Gährung, in deren Folge sich eine namhafte Temperaturerhöhung einstellt und reichlich Kohlensäure entwickelt wird. Anfangs steigt die Temperatur bis nahezu auf 100°, später sinkt sie auf etwa 50° herab; in allen Fällen aber reicht sie aus, um die Essigsäure zu verflüchtigen und die erörterte Wirkung derselben zu veranlassen. Die Bleiweißbildung beginnt von Außen und setzt sich nach Innen fort, so daß nach Verlauf von 6 — 8 Wochen etwa die eingelegten Bleiplatten bis auf einen dünnen metallischen Kern vollständig in Bleiweiß umgewandelt sind.

Deutsche Methode.

Die sogenannte deutsche Methode verfährt genau nach denselben Principien, nur sind die äußeren Mittel, die sie anwendet, verschieden. Die Bleiplatten werden nämlich dachförmig gebogen und neben und über einander in größere hölzerne Kästen eingehängt, welche in beheizten Räumen aufgestellt sind. In die Kästen bringt man Essig und in Gährung befindliche Substanzen, welche Kohlensäure entwickeln und damit sind alle Bedingungen der Bleiweißbildung gegeben, wie beim holländischen Verfahren. Man bezeichnet mit Recht die Bleiweißfabrikation nach den beschriebenen Methoden als für die Arbeiter gefährlich und gesundheitsschädlich. Sie ist es wenig bei jenem Theil der Arbeiten, welche die eigentliche Erzeugung von Bleiweiß zum Zwecke haben, als bei der weitern Behandlung des Produktes, um es in Handelswaare überzuführen. Die zum größten Theil in Bleiweiß umgewandelten Platten müssen nämlich aufgebogen werden, wobei das Bleiweiß abspringt, welches vollends von dem Metallkern durch leises Klopfen abzulösen ist, hierauf wird das Produkt fein gemahlen, bei welchen Vorgängen ein Verstäuben nicht vermieden werden kann, was häufig Vergiftungsfälle herbeiführt. Wenn man auch einen Theil dieser Operationen wohl verschlossenen Maschinen überläßt, so ist der erwähnte Uebelstand doch nicht vollständig zu beseitigen.

Es hat deßhalb besonders in Frankreich und England eine andere Methode Eingang gefunden, wobei das Bleiweiß bis zu seiner Ueberführung in Handelswaare feucht erhalten und somit die Bildung von Staub verhindert werden kann. Das Wesentliche der französischen Methode besteht darin, daß man in eine wässerige Lösung von essigsaurem Bleioxyd die entsprechende Menge feingepulvertes Bleioxyd einträgt, wobei dieses unter Erwärmung gelöst und so eine Lösung von basisch essigsaurem Bleioxyd erzeugt wird; in diese leitet man hierauf reichlich Kohlensäure, welche Bleiweiß herausfällt und das neutrale Salz wieder herstellt. Dieses kann dann wiederholt zu demselben Zwecke benutzt werden. Das Produkt aber, obwohl von blendendweißer Farbe, hat lange nicht die Deckkraft des nach dem holländischen Verfahren gewonnenen. Französische Methode.

In allen Fällen wird das Bleiweiß, nachdem es fein gemahlen wurde, mit Wasser zu einem dicken Brei angemacht, den man dann formt und sorgfältig austrocknet um regelmäßige Stücke der Waare zu erhalten. Häufig wird den minderen Sorten fein gepulverter Schwerspath, ja selbst Kreide, zugesetzt.

Unter den Ersatzmitteln für Bleiweiß nimmt Zinkoxyd den ersten Rang ein, welches beinahe dieselbe Deckkraft wie Bleiweiß zeigt und im Verkehre unter dem Namen Zinkweiß vorkömmt. Man fabricirt es, indem man aus thönernen Retorten metallisches Zink durch starkes Erhitzen dampfförmig in große Kammern leitet, wo für hinreichenden Luftzutritt gesorgt ist und das Zink zu Zinkoxyd verbrennt, welches sich am Boden dieser Kammern ansammelt. Zinkweiß.

Die Verwendung des Bleies ist eine sehr mannigfaltige, man stellt daraus Gefäße, Röhren, Folie, sowie zahlreiche Verbindungen dar. Die gewöhnlichen Zinngeräthe bestehen aus einer Legirung von Zinn und Blei. Um Bleischrot aus dem Metalle anzufertigen, setzt man ihm etwa 2% Arsenik zu, welches bedingt, daß das flüssige Metall bei der Fabrikation runde Tropfen bildet. Man läßt nämlich die geschmolzene Legirung durch einen Sieblöffel aus einer bedeutenden Höhe in ein untergesetztes, mit Wasser gefülltes Gefäß fallen. Auf dem Wege erstarren die Tropfen, und werden hierauf sortirt. Das Letternmetall besteht aus Blei, Antimon und etwas Wismuth.

Kupfer.

Kupfer findet sich natürlich gediegen, weit reichlicher aber als Oxydul, Oxyd und Schwefelmetall, für sich und in zahlreichen Sauerstoff- und Sulfo-Salzen. Um völlig reines Kupfer herzustellen, welches im Verkehre nicht vorkommt, reducirt man reines Kupferoxyd in der Glühhitze mit Wasserstoff und schmilzt das Produkt unter Glas oder Borax zusammen. Das Kupfer ist roth, ziemlich hart, elastisch, zähe und sehr dehnbar; sein spec. Gewicht beträgt 8,92. Nach dem Schmelzen und Erkalten zeigt es eine glänzende, körnige Bruchfläche, wurde es aber gehämmert oder gewalzt, so wird seine Structur feinsehnig. In schwacher Weißglühhitze schmilzt es und leuchtet mit blaugrüner Farbe. Es absorbirt im geschmolzenen Zustande reichlich Sauerstoff und gibt diesen beim Erkalten wieder ab, wobei die aufsteigenden Gasbläschen feine Tropfen des Metalls umherschleudern, welche Erscheinung das Spratzen des Kupfers heißt, und sich auch beim Silber beobachten läßt. An der Luft erhitzt, überzieht sich das Metall zunächst mit einer rothen Schicht von Kupferoxydul, Cu_2O, welches aber weiter Sauerstoff aufnimmt und in Kupferoxyd, CuO, übergeht. Man kann das Kupferoxydul durch Glühen des Oxyds mit feinvertheiltem Metall erhalten. Es ist ein hellrothes, krystallinisches Pulver, und findet sich natürlich als Rothkupfererz. Sein Hydrat erscheint orangegelb. Mit Säuren liefert es meistens farblose Salze, die, gleich dem erhitzten, unverbundenen Oxydul, leicht Sauerstoff aufnehmen und in basische Oxydsalze übergehen. Das Kupferoxyd ist im wasserfreien Zustande braunschwarz, als Hydrat wird es durch Fällen gelöster Kupferoxyd- Oxyde des Kupfers.

salze mittelst Kalihydrat erhalten, und ist ein blaugrüner flockiger Körper, CuO,HO, der schon bei der Siedhitze des Wassers in wasserfreies Oxyd übergeht. Die Salze des Kupferoxyds sind wasserfrei meistens farblos, wasserhaltig oder gelöst erscheinen sie aber blau oder grün. Die Sauerstoff- wie die Haloidsalze zeigen große Neigung, basische Verbindungen hervorzubringen, deren eine große Reihe bekannt ist. Mit Schwefel verbindet sich Kupfer ungemein leicht. Das blanke Metall überzieht sich in Berührung mit Schwefelwasserstoff mit Schwefelkupfer, unter Entwicklung von Wasserstoff. Kupfer verbrennt mit Schwefel zu Halbschwefelkupfer, Cu_2S, welches natürlich als Kupferglanz auftritt, und auch in mehreren anderen Mineralien einen Hauptbestandtheil bildet, welche gerade als Kupfererze von Bedeutung sind, wie das Buntkupfererz: $3Cu_2S+Fe_2S_3$, Kupferkies: $Cu_2S+Fe_2S_3$, Bournonit: $3Cu_2S,SbS_3+2(3PbS,SbS_3)$, Fahlerz.

Schwefelkupfer.

Leitet man durch die Lösung eines Kupferoxydsalzes Schwefelwasserstoff, so erhält man einfach Schwefelkupfer, CuS, als einen schwarzen, pulverförmigen Niederschlag. Dieselbe Verbindung findet sich natürlich als Kupferindig. Mit Chlor vereinigt sich Kupfer direkt zu Kupferchlorid, CuCl, welches braun und unkrystallinisch erscheint, im Wasser sich mit grüner Farbe löst und daraus mit 2 Atomen Wasser in grünen Krystallen erhalten werden kann. Bei stärkerem Erhitzen zerfällt die Verbindung in Chlor und Kupferchlorür, Cu_2Cl, welches farblos und im Wasser schwer löslich ist. Das als Farbmaterial verwendete Braunschweigergrün ist basisches Kupferchlorid, CuO,CuCl. Salpetersaures Kupferoxyd, CuO,NO_5, krystallisirt aus kalten Lösungen mit 6 Atomen Wasser und ist schön blau gefärbt. Durch Doppelzersetzung eines Kupferoxydsalzes mit kohlensaurem Kali erhält man das basische kohlensaure Kupferoxydhydrat, CuO,CO_2+CuO,HO, als einen grünen Niederschlag. Der Malachit, sowie die grüne, auf Kupfer und Bronze mit der Zeit entstehende Patina, haben dieselbe Zusammensetzung, während die Kupferlasur der Mineralogen der Formel: $3CuO,2CO_2+HO$ entspricht. Der vielseitig angewendete Kupfervitriol ist schwefelsaures Kupferoxyd: CuO,SO_3. Dieses Salz findet sich hie und da natürlich, und wird künstlich im Großen durch Rösten von Schwefelkupfer, unter ähnlichen Umständen und Vorgängen wie Eisenvitriol aus Schwefeleisen, erzeugt. Aus der wässerigen Lösung krystallisirt es in lasurblauen Krystallen des ein- und einaxigen Systems mit 5 Atomen Wasser. Mengt man es reichlich mit Eisen- oder Zinkvitriol, so krystallisirt es gemeinschaftlich mit den genannten Salzen in den Formen der Letzteren mit 7 Atomen Wasser. Es ist somit mit diesen, und ferner mit schwefelsaurem Nickeloxydul, Kobaltoxydul, Manganoxydul und Bittererde isomorph, weßhalb man die erwähnten Basen auch als jene der Magnesiareihe zu bezeichnen pflegt. Die Verwendung des Kupfervitriols ist eine sehr mannigfaltige; er dient in der Medicin, in der Färberei, Galvanoplastik, zum Verkupfern u. s. w.

Chlorkupfer.

Kohlensaures Kupferoxyd.

Kupfervitriol.

Kupferlegirungen.

Abgesehen von der vielseitigen Verwendung des unvermischten Metalls, hat das Kupfer auch wegen der vielen wichtigen Legirungen, die sich damit herstellen lassen, große Bedeutung. So wird Messing aus Zink und Kupfer zusammengesetzt; das rothe Messing, Tomback, enthält durchschnittlich 10 % Zink, das gelbe 20—25; die Glockenspeise, wegen ihrer Sprödigkeit und Härte zum Glockenguß besonders geeignet, enthält auf 78 Theile Kupfer 22 Theile Zinn und ist grauweiß. Kanonengut besteht aus 10 bis 11 Theilen Zinn auf 100 Theile Kupfer. Die Bronze der Alten ist aus

Kupfer, Zinn und meistens auch Blei zusammengesetzt; die moderne Bronze enthält auch Zink. Kupfer, Nickel und Zink liefern das Packfong u. s. w.

Quecksilber.

Das Quecksilber findet sich ziemlich spärlich gediegen, meist gemeinschaftlich mit Schwefelquecksilber, welches in größeren Massen auftritt. Das Metall erstarrt erst bei —39,4⁰, ist bekanntlich in gewöhnlicher Temperatur flüssig, siedet bei 360⁰, hat ein spec. Gew. von 13,59, eine zinnweiße Farbe und kann durch starkes Schütteln mit fremden pulverförmigen Körpern sehr fein vertheilt werden und sich so in ein dunkelgraues Pulver verwandeln. Zu Sauerstoff hat es geringe Verwandtschaft; es bildet damit das Quecksilberoxydul, Hg_2O, und das Oxyd, HgO. Das Oxydul ist schwarzbraun, verbindet sich nicht mit Wasser und zerlegt sich sehr leicht, namentlich am Licht in Metall und Quecksilberoxyd. Die Salze des Quecksilberoxyduls mit den farblosen Säuren sind im neutralen Zustande farblos. Es liefert aber eine ganze Reihe von basischen Salzen und darunter auch gelbgefärbte. Durch längeres Erwärmen des Metalls auf 340⁰ an der Luft läßt sich Quecksilberoxyd erzeugen. Am leichtesten erhält man es aber durch Erhitzen des salpetersauren Salzes, wobei sich die Säure zersetzt und verflüchtigt und das Oxyd als ein hellrothes krystallinisches Pulver zurückbleibt. Zersetzt man das Quecksilberchlorid durch Kalihydrat, so fällt das Oxyd als ein lichtgelbes Pulver aus der Flüssigkeit. Es liefert kein Hydrat, verbindet sich mit den Säuren zu neutralen, besonders leicht aber zu basischen Salzen, die ohne Ausnahme aber in starker Hitze zerlegt werden, indem sich das Quecksilber vom Sauerstoff abtrennt, wie auch beim unverbundenen Oxyd geschieht (s. S. 481). Quecksilberoxydsalze werden durch Schwefelwasserstoff in einfach Schwefelquecksilber, HgS, übergeführt, welches, in solcher Weise entstanden, ein schwarzes Pulver ist. Auch durch Zusammenschmelzen der beiden Elemente entsteht zunächst schwarzes Schwefelquecksilber. Wird die Verbindung sublimirt, so condensirt sie sich krystallinisch, ist dann lebhaft roth und hat alle Eigenschaften des natürlichen Zinnobers. Man erzeugt den künstlichen Zinnober entweder auf dem eben bezeichneten Wege oder indem man metallisches Quecksilber einige Zeit unter beständigem Umrühren mit Schwefelleberlösung gelinder erwärmt, wobei sich zunächst schwarzes Schwefelmetall bildet, welches allmälig in die rothe krystallinische Modification übergeht.

Oxyde des Quecksilbers. *Schwefelquecksilber.*

Die Verbindungen der Haloide mit Quecksilber sind flüchtig. Das Chlorid, $HgCl$, wird fabrikmäßig durch Sublimation eines Gemenges von schwefelsaurem Quecksilberoxyd mit Chlornatrium bereitet, wobei schwefelsaures Natron und Quecksilberchlorid entstehen. Letzteres verflüchtigt sich und wird zu einer weißen unkrystallinischen Masse condensirt. Es löst sich leicht in Wasser und Weingeist, krystallisirt daraus in langen Prismen, ist sehr giftig und dient unter dem Namen Quecksilbersublimat, Aetzsublimat als Arznei, zum Conserviren von anatomischen Präparaten, Herstellung anderer Quecksilberverbindungen ꝛc. Das Chlorür ist im Gegensatze im Wasser ganz unlöslich. Man erzeugt es durch Mischen des Chlorids mit 1 Atom Quecksilber und Sublimation des Gemenges: $HgCl + Hg = Hg_2Cl$. Es bildet eine faserig kristallinische Masse, findet sich als Quecksilberhornerz, entsteht bei Einwirkung von Salzsäure auf Quecksilberoxydulsalze als ein weißes Pulver und wird unter dem Namen Calomel als Heilmittel verwendet.

Chlorquecksilber.

Die edlen Metalle.

Silber.

Die letzte Gruppe der schweren Metalle umfaßt die edlen Metalle. Unter diesen ist zunächst das Silber als eines der verbreitetsten zu erwähnen. Man trifft es gediegen, zuweilen in Formen des regulären Systems krystallisirt, oft mit Gold legirt, als Schwefelsilber, spärlicher in Verbindung mit Chlor, Jod, Brom und Tellur. Es ist von schön weißer Farbe, lebhaftem Glanze und einem spec. Gew. von 10,48. Seine Dehnbarkeit wird nur von der des Goldes übertroffen. Mit Sauerstoff verbindet sich das Silber nicht direkt, doch kennt man drei Oxydationsstufen desselben; das Silberoxydul Ag_2O, das Silberoxyd AgO und das Superoxyd AgO_2. Die ersten beiden sind Basen. Die Eigenschaften des Silberoxyduls erinnern an die der entsprechenden Quecksilberverbindung, es ist wenig gekannt, sowie das Superoxyd. Das Silberoxyd erhält man durch Zersetzung seiner Salze mit Kali- oder Natronhydrat als einen braunen pulverförmigen Körper, der im Lichte, sowie bei schwacher Glühhitze, schon in Metall und Sauerstoff zerfällt. Es ist übrigens eine sehr starke Base, welche nie basische Salze hervorbringt und deßhalb zur Bestimmung der Atomgewichte von Säuren sich vorzüglich eignet. Das salpetersaure Silberoxyd löst sich im Wasser und Weingeist, ist in gelinder Hitze schmelzbar und dient in den Laboratorien zur Herstellung anderer Silberverbindungen, sowie als Arzneimittel in der Medicin unter dem Namen Höllenstein. Zu Schwefel und den Haloiden äußert Silber eine viel größere Verwandtschaft als zu Sauerstoff. Die Verbindungen dieser Elemente mit Metallen lassen sich direkt hervorbringen und werden selbst durch starke Hitze nicht zerlegt. Sie entsprechen sämmtlich dem Silberoxyd. Das Schwefelsilber, AgS, natürlich als Silberglanz auftretend, findet sich auch als kräftige Sulfobase, mit Schwefelarsen oder Schwefelantimon verbunden, im Sprödglaserz, lichten und dunkeln Rothgültigerz und anderen Mineralien, welche zur Ausbringung des Silbers dienen. Chlorsilber, AgCl, fällt aus allen Lösungen der Silbersalze auf Zusatz von Salzsäure, als ein weißer, käsiger, ganz unlöslicher Niederschlag heraus. Beim Erhitzen schmilzt es zu einer gelben Flüssigkeit, welche unkrystallinisch erstarrt. Es wird natürlich als Hornsilber in Krystallen des regulären Systems gefunden. Brom- und Jodsilber gleichen in den meisten Beziehungen dem Chlorsilber.

Oxyde des Silbers. *Silbersalze.* *Schwefelsilber.* *Chlorsilber.*

Da das Silber sehr weich ist und sich beim Gebrauche daraus angefertigter Münzen und Geräthe leicht abnutzt, pflegt man es mit Kupfer zu legiren, von welchem Metall nahe an 40 % zugesetzt werden können, ohne daß die Farbe desselben wesentlich verändert würde, während das Produkt härter ist als reines Silber.

Platin.

Eine ganz eigenthümliche Gruppe von Metallen ist jene Reihe von Elementen, welche sich als stete Begleiter des hervorragendsten derselben, des Platins, an einigen Stellen der Erdoberfläche, namentlich am Ural und in Südamerika, im aufgeschwemmten Schuttlande vorfinden. Es sind eigentlich Legirungen dieser Metalle, welche uns die Natur darbietet. Sie wurden erst in neuerer Zeit entdeckt und zwar in der Mitte des vorigen

Jahrhunderts in Neugranada, wo das Platin auch seinen Namen als ein Diminutiv des spanischen plata, Silber, erhielt. Die Platinmetalle zeichnen sich alle durch eine große chemische Indifferenz und höchst bedeutende Strengflüssigkeit aus. Das natürliche Platin ist eine Legirung von Platin mit Iridium, Osmium, Rhodium, Palladium, Eisen und Kupfer. Demselben findet sich eine andere Legirung in Körnern beigemengt, welche aus Osmium, Iridium und Ruthenium besteht und den Namen Osmium-Irid erhalten hat. Dieses widersteht selbst der Einwirkung von heißem Königswasser vollkommen, während sich das eigentliche Platinerz in demselben zum größten Theil löst. Aus einer solchen Lösung kann man durch Zusatz von Salmiak das Platin in Gestalt eines Doppelsalzes von Platinchlorid mit Salmiak ausfällen. Wird dieses Doppelsalz geglüht, so verflüchtigt sich der Salmiak, das Chlor trennt sich von dem Platin und Letzteres bleibt als eine graue poröse Masse zurück, welche den sogenannten Platinschwamm vorstellt. Die große Strengflüssigkeit des Platins gestattet nicht, durch Schmelzen und Gießen das Platin in den zusammenhängenden Zustand überzuführen. Man benutzt hiezu die Schweißbarkeit des Platins. Der Platinschwamm wird unter Wasser fein vertheilt und hierauf das Wasser abgegossen, wornach man das noch feuchte Metallpulver durch starkes Pressen zu einem losen zusammenhängenden Kuchen formt. Dieser wird dann vorsichtig heftiger Weißglühhitze ausgesetzt und in dieser Temperatur, bei welcher er schweißbar ist, durch Hammerschläge zu dichtem Metall vereinigt. Es ist grauweiß, sehr dehnbar, schmilzt nur im Knallgasgebläse, zeigt ein spec. Gewicht von 21,4, wird weder von Salpetersäure, Schwefelsäure, noch von den Wasserstoffsäuren angegriffen, oxydirt sich nicht beim Glühen an der Luft und eignet sich deßhalb vorzüglich zu Geräthen, in welchen Säuren u. dergl. behandelt werden sollen. Von der mächtigen Fähigkeit des Platins, fein vertheilt gasförmige Körper auf der Oberfläche zu condensiren, war bereits bei Wasserstoff die Rede. Wird die Lösung einer Platinverbindung mit Ameisensäure, Zucker und ähnlichen reducirend wirkenden Stoffen erwärmt, so fällt das Platin außerordentlich fein vertheilt als ein schwarzes Pulver, Platinmohr, Platinschwarz, heraus, welches die Wirksamkeit des Platinschwamms in noch höherem Grade zeigt. Das Platin verbindet sich nur schwierig mit Sauerstoff und liefert das Platinoxydul PtO und das Oxyd PtO_2. Zerlegt man Platinchlorür, $PtCl$, mit Natronlauge, so erhält man das Hydrat des Platinoxyduls als ein schwarzes Pulver. Es ist eine sehr schwache Base. Ebenso das Platinoxyd, dessen Hydrat in gleicher Weise aus Platinchlorid, $PtCl_2$, als ein rostbraunes Pulver dargestellt werden kann, welches in schwacher Wärme schwarzes, wasserfreies Oxyd zurückläßt und gleich dem Oxydul beim Glühen in Sauerstoff und Metall zerfällt. Das Platinoxyd hat eher den Charakter einer Säure und liefert mit den Sauerstoffsäuren dunkelgelbe nichtkrystallisirbare Salze, welche sehr unbeständig sind. Chlor vereinigt sich unmittelbar mit Platin zu Platinchlorid, weßhalb sich das Metall auch in Königswasser auflösen läßt. Die rothgelbe Flüssigkeit gibt beim Verdampfen braunrothe nadelförmige Krystalle des Chlorids mit 10 Atomen Krystallisationswasser. Mit Chlorammonium und Chlorkalium vereinigt sich das Chlorid zu gleichen Atomen und liefert ein im Wasser schwer lösliches, in Octaëdern krystallisirtes gelbes Doppelsalz; mit Chlornatrium dagegen eine leicht lösliche Verbindung. Beim Erwärmen von Platinchlorid auf 200° gibt dieses

Chlor ab und hinterläßt Platinchlorür als ein graugrünes, im Wasser unlösliches Pulver.

Die übrigen mit Platin gemeinschaftlich vorkommenden, bereits aufgezählten Metalle bieten manche Eigenthümlichkeiten dar. Dem Platin steht am nächsten das Iridium, während das Palladium an Silber erinnert. Alle diese Metalle zeigen wenig Verwandtschaft zum Sauerstoff, verbinden sich weit leichter mit Chlor und liefern als Chloride mit den alkalischen Chlormetallen Doppelsalze, deren Beschaffenheit und Zusammensetzung an die Platinverbindung erinnert. Das Iridium zeichnet sich besonders durch die Mannigfaltigkeit der Farben aus, welche seine verschiedenen Verbindungen bieten, und übertrifft in dieser Hinsicht noch das Chrom, weßhalb man den Namen dieses Metalles von Iris abgeleitet hat. Das merkwürdigste unter den Platinmetallen ist unstreitig das Osmium. Dieses ist in den meisten seiner Verbindungen, so wie isolirt, dem Platin ähnlich, liefert aber mit Sauerstoff neben mehreren anderen Verbindungnn eine Säure, welche in ihrer Beschaffenheit am allerwenigsten vermuthen läßt, daß sich darin ein Radikal vorfinde, dem man neben Platin einen Platz anweisen muß. Diese Säure (Osmiumsäure), OsO_4, ist nämlich flüchtig, riecht eigenthümlich durchdringend, wirkt energisch giftig und erinnert in den meisten ihrer Eigenschaften an die flüchtigen Säuren, welche die Metalloide hervorbringen.

Gold.

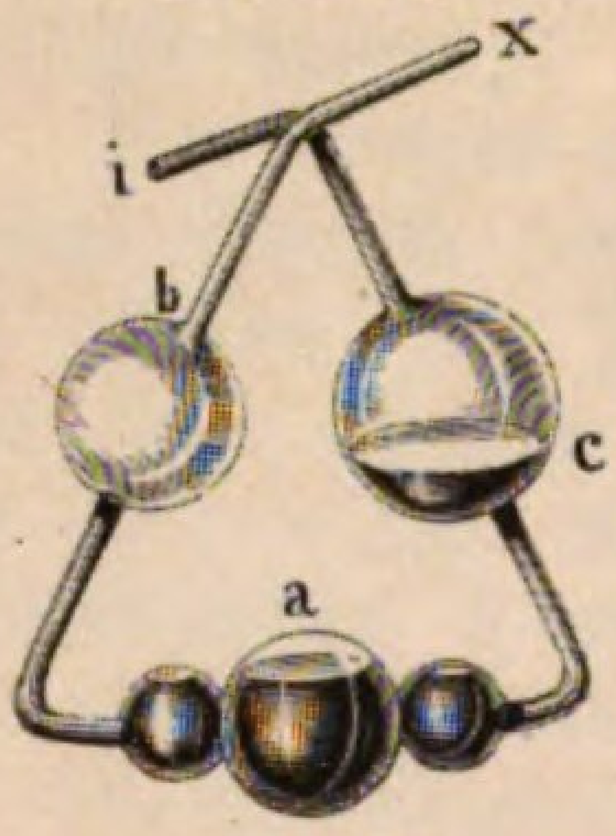
Wir beschließen die Schilderung der Metalle mit dem Golde, welches, stets gediegen auftretend, in seinen chemischen Eigenschaften manche Eigenthümlichkeit darbietet und unter allen Metallen die geringste Verwandtschaft zu den negativen Elementen zeigt. Das Gold ist schön gelb, lebhaft glänzend, sehr weich, außerordentlich dehnbar und nur in ungemein starker Hitze flüchtig. Sehr dünne Goldblättchen sind mit blaugrünem Lichte durchscheinend. Das spec. Gewicht des Goldes beträgt 19,5. Von Sauerstoffverbindungen kennt man näher das Goldoxydul, AuO, und das Goldoxyd, AuO_3. Ersteres bildet ein dunkelviolettes Pulver, Letzteres ist braun, verbindet sich mit Säuren nicht, dagegen aber mit Basen, namentlich Kali. Beide Oxyde werden schon in gelinder Hitze zerlegt und hinterlassen das Metall. Beim Erwärmen zersetzen sich überhaupt in demselben Sinne alle Verbindungen des Goldes. Durch Auflösen des Goldes in Königswasser erhält man Goldchlorid, $AuCl_3$, welches beim Eindampfen eine dunkelviolette krystallinische Masse liefert, deren wässerige Lösung gelb gefärbt ist. Mit Chlornatrium und Chlorkalium gibt das Goldchlorid leicht-krystallisirbare gelbe Doppelsalze. Da das Gold natürlich immer gediegen vorkömmt, so ist seine Gewinnung eine mehr mechanische, als chemische Operation, indem man den goldführenden Sand oder derlei Gesteine nach vorhergegangenem Zerkleinern mit Wasser schlämmt, wobei die Goldtheilchen als die schwersten des Gemenges endlich zurückbleiben. Zuweilen setzt man Quecksilber zu, um mit dem Golde ein flüssiges Amalgam zu bilden, welches dann in ähnlicher Weise, wie das Silberamalgam, behandelt wird. Aus ähnlichen Gründen, wie bei Silber, verarbeitet man gewöhnlich nicht reines Gold, sondern Legirungen desselben mit Kupfer und Silber.

V.

Die organischen Verbindungen.

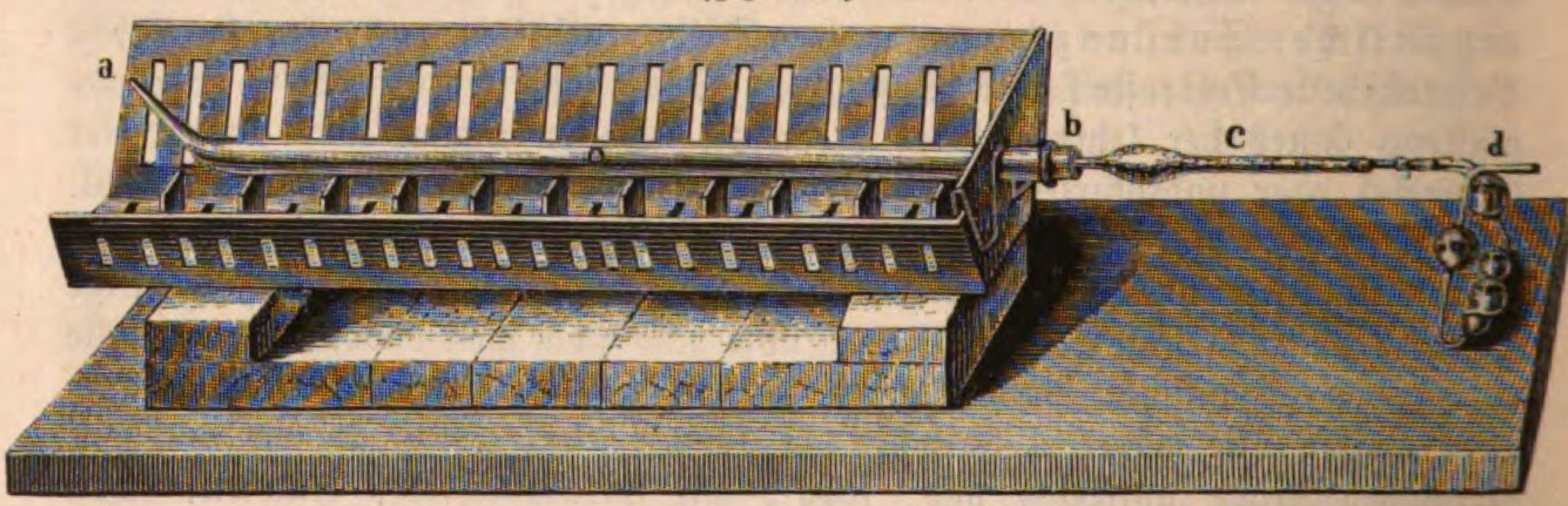
Die während des Lebens der Organismen sich bildenden Körper und alle daraus auf natürlichem oder künstlichem Wege abgeleiteten Stoffe werden organische Substanzen genannt. Diese enthalten als charakteristische Bestandtheile Kohlenstoff und Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, oder wenigstens Eines der letztgenannten Elemente. Selten nimmt noch unoxydirter Schwefel oder unoxydirtes Eisen an der Zusammensetzung derselben Antheil. Doch gilt dies nur für die natürlichen organischen Verbindungen, denn wir können künstlich aus denselben vielerlei Körper ableiten, die mannigfaltige Metalle oder Metalloide enthalten. Wir sind noch weit davon entfernt, alle natürlichen organischen Verbindungen zu kennen. Bei vielen dürfen wir auch nicht hoffen, sie näher untersuchen zu können, da sie nur immer in höchst geringer Menge auftreten und, sobald wir sie abzuscheiden trachten, schon häufig Zersetzungen erleiden. Wo diese und ähnliche Hindernisse nicht obwalten, scheidet man die organischen Substanzen, die in den Organismen immer gemengt mit anderen auftreten, je nach ihrer Natur durch Verflüchtigung (Destillation) oder durch Behandlung mit verschiedenen Lösungsmitteln, welche sie aufnehmen und beim Verdampfen zurücklassen, wobei uns sehr häufig die Krystallisirbarkeit der Körper zu Hülfe kommt. Im Allgemeinen ist dieser Weg ein sehr mühsamer und mit vielen Schwierigkeiten verbunden, und es bedarf oft sehr großer Umsicht und Erfahrung, um sich zu vergewissern, daß der gewonnene Körper wirklich eine reine selbstständige Verbindung und nicht ein Gemenge verschiedener Substanzen sei. Ist dies festgestellt, so ist die nächste Frage, welche Zusammensetzung der Körper besitze und welche Konstitution ihm zukomme. Um erstere zu ermitteln, muß der Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff festgestellt werden; dies geschieht durch die organische Elementar-Analyse, deren Wesen darin besteht, daß eine gewogene Menge des zu analysirenden Körpers in einem passenden Apparat vollständig verbrannt wird, so daß der Kohlenstoff in Kohlensäure, der Wasserstoff in Wasser übergehen, welche in zuvor gewogenen Vorrichtungen aufgesammelt und nachher gewogen werden. Kennt man nun das Gewicht dieser beiden Verbrennungsprodukte, so läßt sich daraus sehr leicht die Menge des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, welche in der Substanz vorhanden waren, berechnen. Um die Kohlensäure in einen wägbaren Zustand überzuführen, läßt man sie von Kalilauge absorbiren.

(Fig. 291.)



Der hierzu dienende Apparat, Fig. 291, ist aus zwei größeren Kugeln b c zusammengesetzt, welche in die drei kleinen Kugeln a führen, worin sich Kalilauge befindet. Während der Verbrennung tritt die Kohlensäure bei i in den Apparat, muß durch die Kugel c nach a abwärts steigen, wo sie zuerst in die erste, dann bei nachdringender Kohlensäure in die zweite, endlich in die dritte kleine Kugel gelangt, während die im Apparate vorfindliche Luft durch b und daraus durch das Röhrchen x entweicht. Bei der sinnreichen Einrichtung dieses Apparates, welchen wir Liebig verdanken, ist demnach die Kohlensäure gezwungen, vielseitig mit Kalilauge in Berührung zu treten, und wird auf ihrem Wege vollständig absorbirt. Zur Verbrennung des organischen Körpers dient Kupferoxyd oder chromsaures Bleioxyd, welche man mit der organischen Substanz innig mengt und in eine Glasröhre o, Fig. 292, am hinteren Ende einfüllt; hierauf noch

(Fig. 292.)



eine lange Schicht des Verbrennungsmittels folgen läßt, um etwa entweichende Destillationsgase vollständig zu verbrennen, und dann mit einem durchbohrten Korb b schließt, in welchem sich das Chlorcalciumrohr c eingefügt findet. Dieses Rohr enthält Chlorcalcium, von welchem wir bereits wissen, daß es Wasser mächtig anzieht, so daß der aus der Verbrennungsröhre entweichende Wasserdampf darin vollständig zurückgehalten wird und bloß die Kohlensäure nach d gelangt. Die Verbrennungsröhre liegt in einem eisernen Ofen und wird allmälig von vorn, gegen das aufgebogene Ende a vorschreitend, mit glühenden Kohlen umgeben. Sobald die Verbrennung der Substanz beginnt, gleiten häufig Kohlensäurebläschen in den Kugelapparat. Dieß setzt sich fort, so lange noch Kohle unverbrannt vorhanden ist, bis endlich kein Nachströmen von Kohlenläure mehr erfolgen kann, der Rest derselben von der Kalilauge absorbirt wird und diese in Folge dessen in die größere der Verbrennungsröhre zugewendete Kugel aufsteigt; dann bricht man die Spitze a ab, saugt, durch eine halbe Minute etwa, Luft durch den Apparat, führt in solcher Weise die in der Verbrennungsröhre noch zurückgebliebene Kohlensäure vollständig der Kalilauge zu und kann hierauf durch Wägung des Chlorcalciumsrohres und Liebig'schen Apparates den Wasserstoff- und Kohlenstoffgehalt der Substanz ermitteln. Enthielt diese auch Sauerstoff, so wird dieser aus dem Verluste berechnet. Bei stickstoffhaltigen Verbindungen aber ist es nöthig, dieses Element durch eine besondere Ope-

ration zu bestimmen. In den meisten Fällen reicht es aus, den fraglichen Körper mit einem Gemenge von Natron und Kalkhydrat innig zu mischen und in einer Verbrennungsröhre zu erhitzen, wobei sämmtlicher Stickstoff als Ammoniak entweicht, welches man in einer ähnlichen Vorrichtung, wie der Kugelapparat, mit Salzsäure zusammentreten läßt. Es bildet sich so Salmiak, dessen Gewichtsbestimmung weiter keine Schwierigkeiten macht, wornach sich leicht berechnen läßt, wie viel Stickstoff in letzterem und somit in der fraglichen Substanz gewesen.

Constitution organischer Stoffe.

Die Untersuchung organischer Körper ist mit der Ermittelung ihres Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalts noch keineswegs abgeschlossen, indem die Analyse nicht ausreicht, uns über die wichtige Frage bezüglich der Constitution, der Zusammensetzungsweise der organischen Körper Aufschluß zu geben. Diese haben nämlich im Allgemeinen nur dann für uns Interesse, wenn wir den Zusammenhang derselben mit anderen organischen Stoffen zu erkennen im Stande sind; also erfahren, wie sie entstanden sind und welche andere Stoffe wieder aus ihnen hervorgehen können. Dies zu ermitteln ist eben die Aufgabe der heutigen organischen Chemie. Indem man die Körper verschiedenen Einflüssen unterwirft, die Zersetzungen, welche sie dabei erleiden, mit Sorgfalt ausmittelt und die neu entstandenen Gruppen wieder zu dem ursprünglichen Körper zu vereinigen sucht, um so zu dem Schlusse berechtigt zu sein, daß sie in der fraglichen Substanz bereits vorgebildet gegenwärtig gewesen, schlagen wir zwar einen sehr mühsamen und umständlichen, aber auch sicheren Weg ein, endlich zur Erkenntniß der Constitution der organischen Körper zu gelangen. Noch ist die Wissenschaft weit von diesem Ziele entfernt. Doch hat das erwähnte rationelle Verfahren uns schon jetzt zur Erkenntniß vieler Regelmäßigkeiten in der Zusammensetzungsweise zahlreicher organischer Stoffe geleitet, die uns gestattet, eine beträchtliche Anzahl derselben in Gruppen von völlig gleichem chemischen Charakter zusammenzustellen so, daß die Schilderung des Verhaltens einer einzigen Verbindung schon ausreicht, um ein genaues Bild aller in dieselbe Reihe gehöriger Substanzen zu geben. Dies hindert nicht, daß wir uns nach dem momentanen Standpunkte der Wissenschaft verschiedene Vorstellungen über die Constitution dieser Körper machen können, die möglicherweise in kurzer Zeit von neuen, passenderen verdrängt werden, ohne daß es uns vielleicht je gelingen wird, diesfalls das richtige auszumitteln, aber alle passenden theoretischen Ansichten haben in jeder Wissenschaft und vorzüglich in der organischen Chemie den Nutzen, daß sie zu Untersuchungen anregen und damit das Feld unseres thatsächlichen Wissens erweitern. Wir wollen aber in dem Folgenden dem theoretischen Theile der organischen Chemie nur einen geringen Raum gewähren und uns darauf beschränken, das Mitgetheilte so einfach als thunlich zu erklären, wo überhaupt eine solche Erklärung möglich ist.

Das Streben, durch Zersetzungen zur Kenntniß der organischen Körper zu gelangen, hat neben geläuterten theoretischen Ansichten über die Constitution derselben auch zur Kenntniß einer außerordentlich großen Anzahl von neuen Produkten geführt, welche, aus den natürlichen Verbindungen hervorgehend, theils vom theoretischen Interesse, theils wegen ihrer Eigenschaften, für die praktische Anwendung von großer Bedeutung sind. Wir kennen gegenwärtig weit mehr künstliche organische Verbindungen als natürliche, da sich unter letzteren viele finden, die unter mannigfaltigen Einflüssen vielerlei Zersetzungsprodukte zu liefern im Stande sind. Dies vorausgeschickt

wollen wir zunächst einen Körper betrachten, der gleichsam an der Gränze zwischen den organischen und unorganischen Verbindungen steht, und einen Cyan. natürlichen Uebergang zu den letzteren vermittelt; es ist das Cyan, welches, nach der Formel C_2N zusammengesetzt, im unverbundenen Zustande gasförmig erscheint und in sehr mannigfaltiger Weise hervorgebracht werden kann.

Schmilzt man stickstoffhaltige organische Stoffe mit Kalihydrat oder kohlensaurem Kali, so entsteht Cyankalium. Unterwirft man die genannten Körper der trockenen Destillation, so bildet sich Cyanammonium. Wenn Stickstoff, bei Gegenwart von kohlensaurem Kali, mit weißglühender Kohle in Berührung kommt, wie z. B. im Eisenhohofen, so vereinigt sich der Stickstoff mit dem Kohlenstoff direkt zu Cyan, welches sich mit dem durch die Kohle reducirten Kalium verbindet. In letzterem Falle ist gewiß jeder Zusammenhang mit organischen Stoffen ferne. Das Cyan gehört zu den zusammengesetzten Radikalen, es schließt sich gleich dem Ammonium in seinem chemischen Verhalten den Elementen an. Seine Verbindungsweisen stellen es neben die Haloide, mit welchen es, abgesehen von seiner Zerlegbarkeit, die größte Aehnlichkeit hat. Die Darstellung des Cyans erinnert an die des Sauerstoffs aus Quecksilberoxyd. Man erhält es nehmlich durch Erhitzen von Cyanquecksilber, wobei es gasförmig entweicht. Es ist farblos, coërcibel, läßt sich in starker Kälte zu einer krystallinischen Masse verdichten, hat einen eigenthümlichen Geruch und ein spec. Gew. von 1,8. An der Luft angezündet, verbrennt es mit violetter Flamme. Wird Cyankalium mit Bleioxyd zusammengeschmolzen, oder ähnlichen oxydirenden Einflüssen unterworfen, so nimmt es Sauerstoff auf und verwandelt sich in cyansaures Kali: Cyansäure. $KC_2N + 2O = KO,C_2NO$. Die Cyansäure ist sehr unbeständig, kann aber durch Doppelzersetzung auf viele Basen unverändert übertragen werden. Leitet man unter Erwärmen über cyansaures Silberoxyd Salzsäuregas, so entsteht Chlorsilber, während sich Cyansäurehydrat, C_2NO,HO, verflüchtigt. Es ist eine ätzendsaure, durchdringend riechende Flüssigkeit, welche nur bei sehr niedriger Temperatur, und selbst dann nur kurze Zeit unzerlegt bleibt, und sich bald unter namhafter Wärmeentwicklung, ohne Veränderung ihrer Zusammensetzung, in eine weiße, geruchlose, ganz indifferente Masse verwandelt, welche Cyamelid heißt, und beim Erwärmen in einer Retorte wieder Cyansäurehydrat mit seinen ursprünglichen Eigenschaften liefert. Mit Wasser in Berührung, zerfällt letzteres augenblicklich in doppeltkohlensaures Ammoniumoxyd: $C_2NO,HO + 3HO = NH_4O,2CO_2$. Wir sehen schon aus diesen wenigen Andeutungen, welch' große Beweglichkeit die Atome im Cyan und seinen Verbindungen sich bewahrt haben, wie dieß aus dem Folgenden noch deutlicher hervorgehen soll. Unter den cyansauren Salzen ist cyansaures Ammoniumoxyd das Interessanteste. Bringt man Cyansäurehydrat mit Ammoniakgas zusammen, so entsteht dieses Salz, welches im Wasser löslich ist und auf Zusatz von Alkalien Ammoniak entweichen läßt, wie die anderen Ammoniumsalze, kurz, sich genau wie eine Verbindung der Cyansäure mit Ammoniumoxyd verhält. Dampft man aber die Lösung desselben ein, so Harnstoff. erhält man Krystalle von Harnstoff, worin sich weder Ammoniumoxyd noch Cyansäure mehr nachweisen lassen und welcher, als ein Produkt sehr complicirter Umsetzungen, aus dem Organismus höherer Thiere, im Harne derselben, abgeschieden wird. Obwohl also die Zusammensetzung des cyansauren Ammoniumoxyds genau die des Harnstoffs ist, erscheinen die Eigenschaften der beiden Körper völlig verschieden, ein Fall, der bei organischen Verbin-

bungen übrigens ziemlich häufig vorkommt. Wir nennen solche Stoffe von gleicher Zusammensetzung und abweichenden Eigenschaften isomer.

Außer der Cyansäure kennt man noch zwei Säuren von gleicher Zusammensetzung, nur ist die absolute Anzahl der darin enthaltenen Atome verschieden groß. Erhitzt man Harnstoff mit Vorsicht so lange, als sich Ammoniak entwickelt, so hinterbleibt eine dreibasische Säure von der Formel: $C_6N_3O_3,3HO$. Sie heißt Cyanursäure, ist farblos, krystallisirbar und entspricht in ihrer Zusammensetzung 3 Atomen Cyansäurehydrat, welche sich zu dieser Gruppe höherer Ordnung vereinigt haben. Wird die Säure erhitzt, so verwandelt sie sich wieder in Cyansäure. Cyanursäure.

Wir sehen aber, daß die procentische Zusammensetzung der Cyansäure mit jener der Cyanursäure völlig übereinstimmen muß. Der Unterschied zwischen beiden Säuren liegt nicht in dem verschiedenen Verhältnisse der darin verbundenen Atome, sondern in der verschiedenen absoluten Zahl derselben, eine Erscheinung, welche häufig bei organischen Verbindungen vorzukommen pflegt und mit dem Namen Polymerie bezeichnet wird. Cyansäure und Cyanursäure sind demnach polymere Substanzen. Polymerie.

Die schon erörterte Aehnlichkeit des Cyans mit den Haloiden läßt voraussetzen, daß sich das Cyan mit Wasserstoff zu einer Säure verbindet. In der That läßt sich durch Behandlung der Cyanmetalle am zweckmäßigsten des Cyankaliums ganz nach dem Vorgange der Bildung von Chlorwasserstoff, Cyanwasserstoff darstellen. Die Cyanwasserstoffsäure, HC_2N, auch Blausäure genannt, ist im wasserfreien Zustande eine farblose, sehr flüchtige Flüssigkeit von durchdringendem, betäubendem Geruch und höchst giftigen Eigenschaften. Mit Wasser mischt sie sich in allen Verhältnissen, zersetzt sich aber in der Lösung bald und scheidet braune, flockige Substanzen ab. Wird Blausäure mit verdünnten Mineralsäuren erwärmt, so bildet sich, unter Mitwirkung des Wassers, ein entsprechendes Ammoniumoxydsalz, während Ameisensäurehydrat sich verflüchtigt: $HC_2N + HO,SO_3 + 4HO = NH_4O,SO_3 + C_2HO_3,HO$. Es ist also durch eine Umlegung der Atome der Stickstoff in eine neue Gruppe eingetreten, während Sauerstoff mit dem Reste der Blausäure Ameisensäure gebildet hat. Der entgegengesetzte Erfolg, welcher uns zugleich den einfachen Zusammenhang zwischen der Ameisensäure und dem Cyan wiederholt darthut, macht sich geltend, wenn man ameisensaures Ammoniumoxyd in einer Retorte erhitzt, denn in der Vorlage sammelt sich dann wieder wasserhaltige Blausäure an: $NH_4O,C_2HO_3 = HC_2N + 4HO$. Mit den Metallen verbindet sich Cyan leicht. Der Charakter der Cyanmetalle entspricht dem der Haloidsalze. Sie lassen sich durch Zersetzung der betreffenden Oxyde mit Blausäure herstellen. Das wichtigste Cyanmetall ist Cyankalium. Man stellt es gewöhnlich durch Schmelzen von Ferrocyankalium dar, einer Verbindung, welche Eisen, Cyan und Kalium enthält und in der Hitze in Cyankalium, Kohlenstoffeisen und Stickstoff zerfällt. Das dünnflüssig schmelzende Cyankalium gestattet, daß das Kohlenstoffeisen sich ablagert, während das geschmolzene Cyanmetall leicht abgegossen werden kann. Es erstarrt zu einer krystallinischen, weißen Salzmasse, ist im Wasser und Weingeist leicht löslich, und gleich allen löslichen Cyanmetallen sehr giftig. Die meisten Verbindungen des Cyans mit schweren Metallen lösen sich in Wasser nicht auf. Blausäure. Cyanmetalle.

Außer diesen, den einfachen Haloidsalzen entsprechenden Cyanverbindungen, sind noch complicirtere von eigenthümlicher Zusammensetzung bekannt,

wo ein Metall sich mit mehreren Atomen Cyan zu einem zusammengesetzten Radikal höherer Ordnung vereinigt hat, welches sich wieder mit Wasserstoff zu Wasserstoffsäuren und mit den Metallen zu Salzen verbindet. Die wichtigste Verbindung dieser Art ist das Ferrocyan, FeC_6N_3, von dessen Kaliumsalz eben oben die Rede war. Bringt man Eisenoxydulsalze oder metallisches Eisen mit Cyankaliumlösung zusammen, so wird das Ferrocyan gebildet und vereinigt sich sogleich mit einem Theile des Kaliums zu Ferrocyankalium: $FeC_6O_3,2K$. Dieses Salz ist im Wasser leicht löslich, liefert damit eine gelbe Flüssigkeit, aus welcher die Verbindung mit drei Atomen Krystallwasser in gelben Krystallen sich abscheidet. Man stellt dieses Salz, welches auch Blutlaugensalz genannt wird, durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kali mit stickstoffreichen organischen Substanzen, wie Wolle, getrocknetes Blut, Horn ꝛc. dar, wobei sich zunächst Cyankalium bildet. Während des Schmelzens wird auch Eisenfeile oder Eisenhammerschlag, Spatheisenstein zugesetzt, welche eine Beimengung von fein vertheiltem Eisen veranlassen, so daß beim nachfolgenden Auslaugen mit warmem Wasser sich in erwähnter Weise Ferrocyankalium bildet, welches dann durch Eindampfen und Erkalten der Lösung krystallisirt erhalten wird. Die Ferrocyanmetalle sind meist im Wasser unlöslich. Ferrocyanwasserstoffsäure, $FeC_6N_3,2H$, ist im Wasser löslich und krystallisirt daraus in farblosen Würfeln. Ferrocyankupfer hat eine schöne rothbraune Farbe und wird als Farbmaterial benützt. Versetzt man die Lösung von Ferrocyankalium mit überschüssigen Eisenoxydsalzen, so entsteht der als Berlinerblau, Pariserblau, bekannte und verwendete schönblaue unlösliche Körper, dessen Formel: $3FeC_2N_3,4Fe$ ist und welcher sich nach folgendem Schema bildet: $2(Fe_2O_3,3SO_3) + 3FeC_6N_3,2K) = 6(KO,SO_3) + 3FeC_6N_3,4Fe$. Das Ferrocyankalium wird hauptsächlich in der Färberei benützt, sowie zur Darstellung von Cyankalium, welches letztere man namentlich bei der galvanischen Vergoldung anwendet. Wenn in eine Lösung von Ferrocyankalium so lange Chlor eingeleitet wird, bis auf Zusatz von Eisenoxydsalz kein Berlinerblau mehr entsteht, so liefert die Flüssigkeit nach dem Verdampfen rothe prismatische Krystalle, welche ebenfalls aus Cyan, Eisen und Kalium bestehen, nur ist das Kalium hier mit einem neuen Radikal, dem Ferridcyan: $Fe_2C_{12}N_6$, verbunden, während $^1/_4$ des Kaliums als Chlorkalium ausgetreten ist: $2(FeC_6N_3,2K) + Cl = Fe_2C_{12}N_6,3K + KCl$. Das Ferridcyan liefert mit Wasserstoff die Ferridcyanwasserstoffsäure, $Fe_2C_{12}N_6,3H$, welche im Wasser löslich und daraus in bläulich schimmernden Nadeln krystallisirbar ist. Ferridcyankalium (rothes Blutlaugensalz) gibt mit Eisenoxydulsalzen Ferridcyaneisen: $Fe_2C_{12}N_6,3Fe$, einen blauen Körper, welcher die größte Aehnlichkeit mit Berlinerblau hat und Turnbull'sblau heißt. Auch Kobalt, Platin und andere Metalle sind im Stande, ähnliche dem Ferro- oder Ferridcyan entsprechende Verbindungen hervorzubringen, die sich dann wieder mit Metallen zu eigenthümlichen Salzen vereinigen. Mit Schwefel bildet das Cyan ebenfalls ein selbstständiges Radikal, das Rhodan: C_2NS_2, welches mit Wasserstoff eine Säure und mit Metallen eine ganze Reihe von Haloidsalzen liefert. Rhodannatrium (C_2NS_2,Na) findet sich im menschlichen Speichel.

Ferrocyan. Berlinerblau. Ferridcyan. Rhodan.

Chemische Thätigkeit in den Pflanzenzellen.

Die Untersuchung des Baues der Pflanzen hat erwiesen, daß diese aus einer Nebeneinanderlagerung höchst zahlreicher kleiner Zellen bestehen, die für sich abgeschlossen nur ausnahmsweise stellenweise geöffnet und dann zu Gängen und ähnlichen Gebilden erweitert auftreten. Innerhalb einer solchen, gleich-

sam für sich ein selbstständiges Ganze bildenden Zelle, herrscht während des Lebens der Pflanze meist eine rege chemische Thätigkeit. Die von außen eindringenden Stoffe schreiten vermöge der Endosmose in bestimmten Richtungen von einer Zelle zur andern, erleiden da zunächst eine Umwandlung, welche die Bildung organischer Stoffe aus den oben erwähnten Materialien zur Folge hat, und erstere verändern sich dann weiter und entwickeln sich zu einer großen Mannigfaltigkeit, welche sich schon durch die auffallende Verschiedenheit im Geruche, Geschmack, Wirkung auf den thierischen Organismus u. s. w. kund gibt. In einer uns noch völlig unklaren Weise bedingt die eigenthümliche Lebensthätigkeit der Pflanzenzellen, daß ihr Inhalt, je nach der Stellung derselben in den Pflanzen, sehr viel Verschiedenheit darzubieten vermag. In einer Zelle finden wir eine klare Flüssigkeit, die daneben liegende ist mit Stärkemehlkörnchen ausgefüllt, eine dritte enthält ein flüchtiges oder fettes Oel, eine andere Krystalle von kleesaurem Kalk und dergl. In vielen Zellen kleiden sich die Wände derselben durch eigenthümliche inkrustirende Stoffe aus, welche endlich fast vollständig den Raum im Innern in Anspruch nehmen und nur eine kleine Höhlung zurücklassen, kurz, während des Lebens der Pflanze ist die Bildung zahlreicher Stoffe in den verschiedenen Zellen beständig thätig und wir kennen noch lange nicht alle organischen Substanzen, welche in solcher Weise in den Pflanzenorganismen hervorgebracht werden. Doch trifft man in den Pflanzen gewisse allgemein verbreitete Bestandtheile an und unter diesen eine Reihe von stickstofffreien Körpern, welche man, da sich darin Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnisse wie im Wasser vorfinden, Kohlenhydrate zu nennen pflegt. So ist die durchsichtige Zellenmembran, welche wir Cellulose nennen, nach der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$ zusammengesetzt. In gewissen Pflanzentheilen, wie jungen Wurzeln, Hollundermark, der Baumwolle, tritt die Cellulose nur gemengt mit löslichen Stoffen auf, die sich durch auf einander folgende Anwendung von Wasser, Weingeist, Aether, verdünnter Kalilauge und solcher Schwefelsäure entfernen lassen, während der Pflanzenzellstoff von den erwähnten Flüssigkeiten nicht verändert wird und rein zurückbleibt, ohne seine ursprüngliche Form und Textur eingebüßt zu haben. Die Cellulose bildet dann eine weiße, unlösliche, lockere Masse. Auch das in den Pflanzen so verbreitete Stärkemehl, Amylum, von gleicher Zusammensetzung mit Zellstoff, hat eine bestimmte Form, Structur, indem es aus concentrischen Schichten einer gleichartigen Substanz besteht, welche in runden, eiförmigen, linsenförmig abgeplatteten, zuweilen auch unregelmäßigen, selbst kantigen oder stabförmigen kleinen Körnern, je nach der Natur der Pflanzen, namentlich in Wurzelknollen und Samen sich aufgehäuft findet. Aus derlei Pflanzentheilen läßt sich das Stärkemehl mechanisch gewinnen, indem man selbe zerkleinert, um die Zellenwände zu zerreißen, dann mit Wasser über einem feinen Siebe oder Tuch lebhaft rührt oder knetet, wobei das Wasser, welches man unaufhörlich zuströmen läßt, die Stärkekörnchen entführt und in einem Gefäße, welches die Flüssigkeit aufnimmt, am Boden ablagert. Man erzeugt so namentlich aus Kartoffeln und Weizenmehl, welche beide sehr reich an Amylum sind, im Großen Stärkemehl. Wie sich schon aus der eben erwähnten Gewinnungsart ergibt, ist das Stärkemehl im Wasser unlöslich. Beim Erwärmen mit Wasser quillt es aber zu seinem vielfachen Volum auf und bildet eine durchscheinende, opalisirende, kleisterartige Masse. Bringt man Jodlösung mit Stärkemehl zusammen, so färbt sich letzteres augenblicklich

Allgemein verbreitete Pflanzenstoffe. Kohlenhydrate.

Cellulose.

Stärkemehl.

dunkelblau, welches Verhalten benützt wird, um bei Untersuchung des Zellinhaltes der Pflanzen Stärkemehl von anderen ähnlichen Gebilden zu unterscheiden. Abgesehen von dem Vorhandensein des Stärkemehls in vielen wichtigen Nahrungsmitteln, dient dieser Körper zum Leimen des Papiers, Steifen und Appretiren der Stoffe, Verdicken der Beizen in der Zeugdruckerei, namentlich aber zur Herstellung von Zucker und Dextrin. Ersterer wird dann durch Gährung in Alkohol umgewandelt. Sago, Arrowroot und ähnliche Produkte sind nichts weiter als Stärkemehl. Eine eigenthümliche Modifikation des Stärkemehls, welche im heißen Wasser löslich ist und daraus beim Erkalten sich als ein weißes Pulver abscheidet, durch Jod gelb gefärbt wird und Inulin heißt, wird in manchen Wurzeln, wie denen von Alant, Löwenzahn, Dahlien ꝛc. angetroffen.

Gummi. Auch das vielverbreitete Gummi hat die Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$. Gummi erscheint in den Pflanzen nur als wässerige Lösung. In einigen bildet es sich so reichlich, daß die Zellenwände bersten, die Lösung austritt, an der Luft trocknet und so unregelmäßige Massen dieses bekannten Stoffes zurückläßt. Dieses findet namentlich bei einigen Mimosen statt, deren Product als arabisches Gummi versendet wird. Es ist schwach gelblich, durchsichtig, löst sich im Wasser zu einer dicklichen, geschmacklosen Flüssigkeit und wird als Kleb= wie Verdickungsmittel benutzt. Viele Pflanzentheile, namentlich Leinsamen, Quittenkerne, Eibischwurzel und ähnliche enthalten den sogenannten Pflanzenschleim. Dieser ist eigentlich im Wasser nicht löslich, allein er quillt damit zu einer schlüpfrigen, zähen Flüssigkeit auf, welche mit der Gummilösung Aehnlichkeit hat. Der Pflanzenschleim scheint in der That Gummi zu sein, dessen Eigenschaften durch immer darin reichlich vorkommenden phosphorsauren Kalk modificirt sind. Seine Zusammensetzung entspricht ebenfalls der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$. Erhitzt man Stärkemehl auf etwa 200^{0}, so verändert es kaum seine Gestalt und Textur, ist nun aber im Wasser löslich geworden. Das Stärkemehl geht nämlich unter diesen Umständen in einen dem Gummi sehr ähnlichen Körper, das Dextrin, über, welches ebenfalls mit Wasser eine dickflüssige Lösung bildet, deren Verdampfung das Dextrin als eine durchsichtige, gummiähnliche Masse zurückläßt. Uebrigens wird Dextrin als ein sehr verbreiteter Bestandtheil der Pflanzen natürlich gebildet angetroffen. Man benutzt das Dextrin als ein wohlfeiles Ersatzmittel für Gummi und bereitet es im Großen aus Stärkemehl. Die Umwandlungsfähigkeit des Stärkemehls bleibt bei der Bildung des Dextrins nicht stehen. Man kann aus beiden auch Zucker erzeugen und zwar jene Zuckerart, welche als Traubenzucker, Krümmelzucker in den Pflanzen sehr verbreitet ist und namentlich den süßen Geschmack der Früchte bedingt. Unter Zucker im engeren Sinne versteht man jedoch nur solche Verbindungen, welchen neben dem süßen Geschmack auch die Fähigkeit zukommt, in wässeriger Lösung auf Zusatz von Hefe in weingeistige Gährung überzugehen. Man unterscheidet mehrere Arten Zucker: der Traubenzucker findet sich auch im Honig, tritt im Blute des Menschen als normaler Bestandtheil auf und wird bei der sogenannten Harnruhr durch einen abnormen Umsetzungsprozeß im Organismus so reichlich erzeugt und durch die Nieren abgeschieden, daß sich in dem Harne der Kranken reichlich davon findet. Bei der Umwandlung des Stärkemehls und Dextrins in Traubenzucker, welche wahrscheinlich auch in den Pflanzen sehr häufig eintritt, bedient man sich der Fähigkeit verdünnter Mineralsäuren, beim Erwärmen mit den genannten Stoffen, diese

Pflanzenschleim. Dextrin. Traubenzucker.

in Traubenzucker überzuführen, ohne daß die Säuren eine Veränderung erleiden oder eine Verbindung damit eingehen. Die nächste Ursache dieser Zuckerbildung ist uns völlig unbekannt. Unten bei der Gährung wollen wir noch eine interessante Modalität der Umwandlung des Stärkemehls in Traubenzucker näher besprechen. Der Traubenzucker löst sich leicht im Wasser, hat einen süßen Geschmack und krystallisirt aus der wässerigen Lösung in kleinen, blumenkohlartig gruppirten Blättchen, deren Zusammensetzung die Formel: $C_{12}H_{12}O_{12} + 2Aq$ ausdrückt. Bei 100° wird schon das Krystallwasser ausgetrieben, wobei der Zucker schmilzt. Die Vergleichung der Formeln zeigt, daß Stärkemehl, Gummi und Dextrin durch Aufnahme von 2 Atomen Wasser in Traubenzucker übergehen. Eine ganz gleiche Zusammensetzung zeigt der nicht krystallisirbare Schleimzucker, den man im Honig, in Pflanzensäften antrifft, und der auch beim Erwärmen von Rohr- oder Traubenzucker mit verdünnten Säuren aus diesen entsteht und sich selben beimengt. Die wichtigste Zuckerart ist unstreitig der Rohrzucker, $C_{12}H_{11}O_{11}$, der im Safte vieler Pflanzen vorkommt, künstlich aber aus anderen Kohlenhydraten nicht dargestellt werden kann. Rohrzucker ist im Wasser sehr reichlich löslich. Er bildet damit eine farblose syrupdicke Flüssigkeit, aus welcher der Zucker in großen, farblosen, deutlichen Krystallen erhalten werden kann. Bei 160° schmilzt der Rohrzucker und erstarrt hierauf zu einer glasigen, spröden, amorphen Masse (Gerstenzucker), welche nach einiger Zeit in ein undurchsichtiges Aggregat kleiner Zuckerkrystalle übergeht. Die vielseitige Verwendung des Rohrzuckers ist bekannt.

Schleimzucker. Rohrzucker.

Gewinnung des Rohrzuckers.

Obwohl viele Pflanzen-Säfte Rohrzucker enthalten, so sind doch nur wenige zur vortheilhaften Gewinnung des Zuckers geeignet, da sie meistens vielerlei andere lösliche Substanzen enthalten, die bei der Verarbeitung Veränderungen des Zuckers veranlassen oder wenigstens denselben am Krystallisiren hindern. Nun ist es aber eben Aufgabe, den Zucker in Gestalt eines Aggregates von kleinen Krystallen zu erhalten und gleichzeitig alle Beimengungen so vollständig zu beseitigen, daß der Zucker farblos und frei von einem fremdartigen Geschmack sei. Als Zucker liefernde Pflanzen können wir bezeichnen das Zuckerrohr, die Runkelrübe und den Zuckerahorn. Letzterer enthält in seinem Frühlingssafte viel Rohrzucker und wird namentlich in Nordamerika in der Weise benutzt, daß man im Frühjahr die Bäume anbohrt und den reichlich ausfließenden Saft eindampft. Obwohl dergestalt bedeutende Mengen von Zucker gewonnen werden, so bildet der Ahornzucker dennoch keine eigentliche Handelswaare, sondern wird nur für den häuslichen Gebrauch oder einen engeren Verkehr erzeugt. Eine in neuerer Zeit aus China zunächst nach Amerika gebrachte Pflanze, das Sorghum saccharatum, liefert gleichfalls einen zuckerreichen Saft und scheint für die Zukunft der Zuckerindustrie von großer Bedeutung zu sein. Sie soll auch in Europa fortkommen, doch liegen über diesen Gegenstand noch wenig Erfahrungen vor, so daß wir füglich unsere Schilderung auf die Gewinnung des Rohrzuckers aus Zuckerrohr und Runkelrüben beschränken können.

Ahornzucker.

Die Rübenzucker-Fabrikation, welche bei uns betrieben wird, hat im Allgemeinen mit weit mehr chemischen Schwierigkeiten zu kämpfen, als die Zuckererzeugung aus Zuckerrohr, da der Rübensaft vielerlei fremdartige Substanzen enthält, welche auf die Größe und Qualität der Ausbeute einen nachtheiligen Einfluß ausüben. Es kann daher nicht Verwunderung erregen, wenn man aus der Runkelrübe, welche durchschnittlich 11 % Rohrzucker enthält, höchstens 6 — 7 % desselben im reinen Zustande gewinnt, trotzdem daß Chemie und Mechanik sich vereint haben, den Betrieb immer mehr zu vervollkommnen.

Runkelrübenzucker.

Wenn eine wässerige Lösung von Rohrzucker andauernd zum Sieden erhitzt wird, so verändert sich ein Theil des Zuckers und wird unkrystallisirbar; beim Eindampfen erhält man dann nur eine syrupdicke Masse, die wohl noch viel unveränderten Rohrzucker enthält, der aber zum größten Theil durch sein zähflüssiges Umwandlungsprodukt verhindert wird, sich krystallinisch abzuscheiden. Diese Umwandlung hat also einen

doppelten Nachtheil, und es ist daher Aufgabe, das Eindampfen der Zuckerlösung sehr rasch und bei möglichst niedriger Temperatur durchzuführen. Von den Beimengungen des Rübensaftes sind Säuren besonders zu fürchten, da selbe, wie wir schon oben erwähnt, die Fähigkeit besitzen, aus Rohrzucker Traubenzucker hervorzubringen, was neuerdings einen Verlust an Rohrzucker bedingt. Mancherlei zum Theil nicht näher bekannte Bestandtheile des Rübensaftes erleiden während der Behandlung desselben verschiedene chemische Zersetzungen, welche sich auf den Rohrzucker übertragen und diesen gleichfalls bestimmen, in unkrystallisirten Zucker überzugehen. Andererseits hat man einen Zusatz von Kalk als das beste Mittel erkannt, den Saft während seiner Behandlung vor verschiedenen zu weit greifenden Zersetzungen zu schützen; jeder Zusatz von Kalk aber bringt auch wieder einen bestimmten Nachtheil mit sich, da Kalk, sowie jede andere lösliche, kräftige Basis beim Erwärmen mit Traubenzucker diesen bräunt, was sich auch beim Schleimzucker einstellt, so daß die genannten syrupartigen Producte schließlich auch eine dunkle Färbung annehmen, was die Gewinnung farbloser Zuckerkrystalle bedeutend erschwert. Um alle diese nachtheiligen Einflüsse in bestimmte Grenzen zu bannen, müssen mancherlei Kunstgriffe zur Anwendung kommen, die im Folgenden angedeutet werden sollen.

Die Gewinnung des Rübensaftes wird zumeist durch Zerreiben und Pressen des Rübenbreies bewerkstelligt. Die Preßrückstände sind ein, allerdings nicht sehr werthvolles Viehfutter; an anderen Orten werden die Rüben zu Scheiben zerschnitten und mit kaltem oder warmem Wasser ausgelaugt. Dies kann man auch mit getrockneten Rübenschnitten bewerkstelligen und durchführen, was unter gewissen Verhältnissen Vortheil bringt, da in solcher Form die Rüben sich verhältnißmäßig weit transportiren lassen und der Umkreis, aus welchem die Fabrik ihren Rübenbedarf bezieht, sich in dem Maße erweitert, als die Rübe transportabler wird. Doch wird im Allgemeinen das Pressen, trotz der kostspieligen hydraulischen Pressen, dem Auslaugen frischer oder getrockneter Rübenschnitte (Macerationsverfahren) vorgezogen.

Der in der einen oder anderen Weise gewonnene Rübensaft gelangt nun zur sogenannten Läuterung (Defecation). Er wird nach Zusatz von etwas Kalkmilch und gepulverter Knochenkohle zum Sieden erhitzt. Der Eiweißgehalt des Saftes gerinnt dabei; das Eiweiß bildet größere Flocken, welche mechanische Beimengungen des Saftes umschließen; der Kalk geht dabei verschiedene Verbindungen ein, meist mit stickstoffhaltigen, zur Zersetzung besonders geneigten Substanzen, die sich damit unlöslich abscheiden; was etwa an freien Säuren vorhanden war, wird neutralisirt und unlöslich gemacht; der Saft klärt sich und man läßt ihn durch Filter aus Leinwand laufen, die in Gestalt von mit metallenen Mundstücken versehenen zusammengefalteten Säcken zur Anwendung kommen und nach ihrem Erfinder Taylor'sche Filter heißen.

Nun schreitet man zum Eindampfen des Saftes, welches rasch und nicht bei zu starker Hitze durchgeführt werden soll. Dabei dienen verschiedene Vorrichtungen. Meistens sind es offene Pfannen, auf deren Boden ein vielfach gewundenes Metallrohr liegt, in welchem man Wasserdampf circuliren läßt; auch sind Pfannen im Gebrauche, die, gleichfalls mit Dampf beheizt, Schaufelräder enthalten, welche bei ihren Umdrehungen den Saft heben und dadurch die verdampfende Oberfläche bedeutend vergrößern; auch dienen zum raschen Verdampfen nicht selten übereinander gestellte, mit Wasserdampf beheizte horizontale Röhren, über die man den Saft herabtropfen läßt. Mag das Eindampfen in einer oder anderer Weise durchgeführt sein, so nimmt der Saft theils in Folge der größeren Concentration, theils weil die oben angedeuteten Zersetzungen fortschreiten, eine dunklere Färbung an und trübt sich. Er muß nun neuerdings filtrirt werden, wobei Knochenkohle zur Anwendung kommt. Dieses wichtige Hilfsmittel der Zuckerindustrie erhält man durch Verkohlen von Knochen, deren stickstoffhaltige Bestandtheile eine an Stickstoff reiche und gleichzeitig poröse Kohle liefern. Man nimmt das Verkohlen meist in eisernen Cylindern oder Retorten vor; da und dort auch in bedeckten Töpfen, deren eine größere Anzahl auf der Sohle eines Flammenofens aufgestellt ist. Die Kohle wird zwischen cannellirten Walzen gekörnt, d. h. in kleinere Stücke zerdrückt und, was als Staub abfällt, beim Läutern des Saftes verwendet. Bei der Anwendung in den Filtern schichtet man die Kohle in große mit Kupferblech ausgeschlagene Kästen auf einen durchlöcherten Doppelboden und läßt den heißen eingedickten Saft durchfließen. Die in Folge der Zerkleinerung außerordentlich vergrößerte Oberfläche der Kohle wirkt auf den Saft entfärbend (siehe Seite 508) und entzieht demselben auch den größeren Theil des noch vorhandenen überschüssigen Kalks, während die suspendirten Theilchen, welche den Saft trübe machen, mechanisch zurückgehalten werden. Solche Filter (Dumont's Filter) wirken daher nicht nur mecha-

Dumont's Filter.

nisch, sondern auch chemisch reinigend. Das im vorgesetzten Gefäße abfließende gereinigte Produkt heißt Klärsel. Es wird nun weiter eingedampft und zwar so weit, daß es beim Erkalten reichlich Zuckerkrystalle absetzen muß.

Um dabei die vorhin erwähnten nachtheiligen Einflüsse des längeren und starken Erhitzens zu vermeiden, bedient man sich jetzt allgemein beim schließlichen Eindampfen der sogenannten Vacuumpfannen, in welchen das Verdampfen in einem luftverdünnten Raume vorgenommen wird, wodurch, nach dem bereits in der Physik darüber Gelehrten, die Verdunstung des Wassers nicht nur sehr beschleunigt, sondern auch in mäßiger Wärme eingeleitet werden kann. Eine Zuckerlösung, welche in offenen Gefäßen bei etwa 112⁰ siedet, zeigt in den Vacuumpfannen einen Siedepunkt von beiläufig 82⁰. Die Pfannen bestehen aus zwei metallenen, luftdicht mit einander verbundenen Kugelsegmenten; das obere bildet den Deckel und enthält neben verschiedenen anderen Vorrichtungen auch ein Rohr, welches den Dampf weiter leitet und gleichzeitig mit den Vorrichtungen in Verbindung gesetzt ist, die zum Auspumpen des Apparates dienen. Das untere Segment ist meist mit einem Gehäuse umgeben, welches überhitzten Wasserdampf aufnimmt, und enthält im Inneren eine, auch zwei spiralförmig gewundene Metallröhren, in denen gleichfalls Wasserdampf circulirt. Es ist also dem Klärsel eine große beheizende Oberfläche dargeboten; zudem sind selbstverständlich noch Vorrichtungen angebracht, um die Pfanne bequem füllen und entleeren zu können, und erforderlichen Falles Proben herauszunehmen. Meistens dienen, um den luftverdünnten Raum zu erzeugen, große Luftpumpen, dabei kann aber auch gleichzeitig oder selbstständig die Condensation des Wasserdampfes benutzt werden, der, wenn man ihn nach seinem Austritt aus der Pfanne durch Abkühlen zu Wasser verdichtet, einen verdünnten Raum erzeugt und dadurch eine saugende Wirkung hervorbringt. Vacuumpfannen.

Der gehörig concentrirte Zuckersaft gelangt aus den Pfannen in größere Behälter, wo die Krystallisation beginnt. Da es sich darum handelt, kleine Krystalle herzustellen, so wird die zähe Flüssigkeit, sobald die Krystallbildung beginnt, umgerührt. Nach kurzer Zeit ist das Ganze in einen krystallinischen Brei umgewandelt, den man in die Zuckerhutformen schafft. Die Gestalt der letzteren ist bekannt. Früher waren sie meist aus Thon angefertigt, jetzt verwendet man fast allgemein solche aus lackirtem Eisenblech. Die Spitze ist durchlöchert, während des Einfüllens aber mit einem Pfropf verschlossen. Die Formen setzt man mit der Spitze nach abwärts in Gestelle und füllt sie nicht ganz bis zum Rande mit dem Zuckerbrei. Dieser erstarrt allmälig und bildet so ein Aggregat von Zuckerkryställchen, zwischen welchen sich reichlich die zähflüssige Mutterlauge, der Syrup, befindet, der nach dem oben Gesagten der Hauptsache nach eine concentrirte wässerige Lösung von Rohrzucker und unkrystallisirbaren Zucker ist. Nach vollendeter Krystallisation werden die die Spitze der Form schließenden Pfropfen ausgezogen, die Mutterlauge tropft nun allmälig in untergesetzte Gefäße oder Rinnen, kann aber auf diesem Wege keineswegs vollständig beseitigt werden, da dem gänzlichen Abtropfen die Zähflüssigkeit des Syrups hinderlich ist.

Zur weiteren Beseitigung des Syrups schreitet man daher zum Decken. Dieses wurde früher in der Weise durchgeführt, daß man auf die Oberfläche des Zuckers eine mäßig hohe Schicht von stark befeuchtetem weißem Thon auflegte. Dieser gab Wasser an den darunter liegenden Zucker ab, stellte so eine verdünntere Lösung des Syrups her, welche, nach abwärts sinkend, den gefärbten Syrup verdrängte. Der Thon wurde mehrmals wieder befeuchtet und schließlich entstand in den oberen Schichten des Zuckers eine reine Zuckerlösung, die auf ihrem Wege nach abwärts den Rest des Syrups beseitigte, ohne selbst weiter mehr Zucker aufnehmen zu können. In neuerer Zeit ist das Decken mittelst Thon ziemlich allgemein verlassen; statt dessen wendet man absichtlich hergestellte reine Zuckerlösungen an, die man in einigen Portionen auf den gehörig geebneten Zucker aufgießt und die bei ihrem Durchsickern den Syrup verdrängen. Der bei diesen Operationen erhaltene Syrup liefert bei wiederholtem Eindampfen u. s. w. nochmals krystallisirten Zucker. Was vom Syrup bei der zweiten Krystallisation abfällt, kann in der Regel nicht weiter auf Zucker verarbeitet werden und dient als Melasse zur Branntwein-Fabrikation, da sie einen sehr üblen Geruch besitzt, während Melasse vom Raffiniren des Colonial-Zuckers hauptsächlich als ein minder werthvolles Versüßungsmittel benutzt wird. Decken. Melasse.

Der Colonial-Zucker wird in ähnlicher Weise gewonnen, wie der Rübenzucker. Der Saft des Zuckerrohrs ist an Zucker viel reicher als Rübensaft, indem er 17 — 20% Zucker und daneben nur wenig andere organische Substanzen enthält, so daß in unseren klimatischen Verhältnissen die Aufarbeitung eine sehr große Ausbeute liefern würde. In den Gegenden, wo das Zuckerrohr gedeiht, ist die dort herrschende Hitze Colonialzucker.

einer vollkommenen Gewinnung jedoch sehr hinderlich, da der ausgepreßte Saft sich sehr bald zu zersetzen beginnt und zudem die Vorrichtungen in den Zucker-Plantagen meistens sehr roh sind. So kömmt es, daß das Zuckerrohr im Allgemeinen keine größere Ausbeute giebt, als die Runkelrübe. Man beginnt mit der Gewinnung des Saftes, indem man die, kurze Zeit vor der Blüthe geschnittenen, Stengel zwischen hölzernen Walzen durchgehen läßt, welche das Rohr zerquetschen und gleichzeitig den Saft auspressen. Die holzige Beschaffenheit des Rohrs, sowie die Unvollkommenheit der Vorrichtung bedingen, daß eine merkliche Menge des Zuckersaftes verloren geht, indem er in dem Rohr zurückgehalten wird. Den Saft bringt man dann in eine Reihe von Pfannen, die terrassenförmig aufgestellt und mit einer gemeinsamen Beheizung versehen sind. Die erste höchste Pfanne dient zum Läutern, welches man in ähnlicher Weise durchführt, wie beim Rübensaft. Der Schaum wird dabei mit einem Sieblöffel abgehoben und der geklärte Saft ohne vorhergegangenes Filtriren in die folgende tiefere Pfanne geschafft, dann in die dritte, endlich in eine vierte, während die so entleerten Pfannen wieder von neuen Quantitäten Saft in Anspruch genommen werden. In den letzten Pfannen erreicht die Lösung endlich ihre volle Concentration; man bringt die heiße syrupdicke Flüssigkeit in größere Krystallisirgefäße und füllt sie, sobald die Krystallisation begonnen, in große Zuckerhutformen, wo der Zucker wie der Rübenzucker behandelt wird. Die abfließende Melasse benutzt man häufig zur Erzeugung von Rum. Sie ist wegen der weit vorgeschrittenen Zersetzung des Zuckers dunkel gefärbt, hängt den Zuckerkrystallen sehr hartnäckig an und wird nicht durch Decken beseitigt, so daß das Produkt gelb bis braun gefärbt erscheint. Das Reinigen besorgt man in Europa in den **Zuckerraffinerien**, wo der Zucker zunächst in heißem Wasser gelöst wird, wornach man Knochenkohle und Eiweiß (letzteres in Gestalt von Rindsblut) zusetzt und zum Sieden erhitzt. Nicht selten kommt etwas Kalk zur Anwendung, das Eiweiß gerinnt und wirkt in der erörterten Weise klärend, dann wird filtrirt und weiter in ganz ähnlicher Weise verfahren, wie bei der Herstellung des Rübenzuckers.

Raffiniren des Zuckers.

Der **Kandiszucker** ist Rohrzucker in großen Krystallen. Um ihn darzustellen, verfertigt man minder gesättigte Lösungen, wie beim Hutzucker, und läßt die Flüssigkeit langsam erkalten, zu welchem Behufe die Localitäten, worin die Krystallisationsgefäße aufgestellt sind, beheizt werden.

Außer den erwähnten Zuckerarten trifft man in gewissen Pflanzen noch andere süßschmeckende krystallisirbare Stoffe, welche nach ihrer Zusammensetzung ebenfalls zu den Kohlenhydraten gehören, aber nicht gährungsfähig sind. Während der Traubenzucker sich sowohl im Thierreiche wie in den Pflanzen findet, kennt man noch eine wahre gährungsfähige Zuckerart, die bis jetzt nur in Thieren angetroffen wurde. Es ist dies der **Milchzucker**, der, wie schon der Name andeutet, in der Milch der Säugethiere, aber auch im bebrüteten Hühnerei und anderen thierischen Flüssigkeiten auftritt. Er hat einen viel schwächeren süßen Geschmack, als Rohr- und Traubenzucker, löst sich auch schwieriger im Wasser und krystallisirt daraus in weißen, harten Prismen. Seine Formel ist: $C_{12}H_{12}O_{12}$ und durch Erwärmen mit verdünnter Schwefelsäure geht er ungemein leicht in Traubenzucker über.

Milchzucker.

Mannit.

In der Manna, welche durch Austrocknen des Saftes der Eschen in Süditalien gewonnen wird, findet sich neben Zucker ein anderer süßschmeckender krystallisirbarer Körper, der **Mannit**, welcher auch bei gewissen Gährungen von Pflanzensäften, wie es scheint aus Zucker, entsteht. Reiner Mannit bildet feine farblose, seidenglänzende Nadeln. Er enthält mehr Wasserstoff, als den Kohlenhydraten entspricht und hat die Formel: $C_{12}H_{14}O_{12}$. Werden die Kohlenhydrate mit mäßig concentrirter Salpetersäure gekocht, so liefern sie **Oxalsäure, Sauerkleesäure**, mit Ausnahme des Gummis und Milchzuckers, welche dabei zur Bildung von Schleimsäure Veranlassung geben. Die Oxalsäure gehört zu den einfachst zusammengesetzten organischen Stoffen und entsteht deßhalb in sehr mannigfaltiger Weise. Wie der Name schon andeutet, trifft man sie und zwar an Kali gebunden als saures Salz im Sauerklee, Sauerampfer und anderen Pflanzen. Auch in den Thierkörpern

Oxalsäure.

findet sie sich hie und da. Sie läßt sich als eine Oxydationsstufe des Kohlenstoffs betrachten. Ihre Formel als Hydrat ist: C_2O_3,HO. Aus Wasser, worin sie sich leicht löst, krystallisirt sie mit 2 Atomen Krystallwasser Sie schmilzt in der Hitze und verflüchtigt sich zum Theil unverändert. Mit den Basen liefert sie neutrale und saure Salze.

Wenn man Kohlenhydrate mit ganz concentrirtem Salpetersäurehydrat oder einem Gemenge desselben mit Schwefelsäure zusammenbringt, so gibt die Salpetersäre an einen Theil des Wasserstoffs in der organischen Substanz Sauerstoff ab, bildet so Wasser, welches aus der Verbindung austritt, während die andererseits hervorgebrachte Untersalpetersäure nicht etwa frei wird, sondern geradezu an die Stelle des ausgeschiedenen Wasserstoffs in die Verbindung eingeht, so daß hier die Untersalpetersäure eine ähnliche Rolle übernimmt, wie so häufig das Chlor und Brom, indem sie den Wasserstoff substituirt. Solche untersalpetersäurehaltige Substitutionsprodukte, welche sich auch mit vielen anderen organischen Substanzen erzeugen lassen, werden im Allgemeinen Nitrokörper genannt und sind meistens explodirbar. Die vielbesprochene Schießbaumwolle ist eine solche Nitroverbindung, in welcher der Wasserstoff der Cellulose bis zu 3 Atomen durch Untersalpetersäure ersetzt ist. Auch mit Mannit läßt sich ein ähnlicher Körper erhalten, sowie mit Rohrzucker u. s. w. Von der Schießbaumwolle ist bekannt, daß sie ihre Textur bei dieser Substitution nicht verändert, was uns andeutet, wie durch diesen Vorgang die eigentliche Anordnung der Atome keine Veränderung erlitten habe. Dies wird noch deutlicher, wenn, wie auch in Wirklichkeit gelungen, man die Untersalpetersäure wieder aus der Gruppe herausholen und den Wasserstoff neuerdings an deren Stelle setzen kann, ohne daß die Gestaltung des Stoffes sich dabei veränderte. Nitrokörper. Schießbaumwolle.

Die Erkenntniß der Substitutionserscheinungen überhaupt hat die Feststellung der Constitution vieler Körper ermöglicht, indem die Fähigkeit des Wasserstoffs, durch einfache oder zusammengesetzte Radikale in einer Gruppe sich ganz oder theilweise substituiren zu lassen, uns in vielen Fällen Aufklärung über die Entstehung und Zusammensetzung organischer Stoffe bietet, so daß wir ganze Reihen derselben als einfache Substitutionsprodukte einer und derselben Substanz erkannt haben, wo je nach der Natur des substituirenden Körpers verschiedene Eigenschaften zum Vorschein kommen, ohne daß jedoch dabei der wesentliche Grundcharakter der Stammverbindung eine namhafte Abänderung erlitte. Wir kennen zahlreiche natürliche organische Verbindungen, welche sich deuten lassen als Zucker, dessen Wasserstoff zum Theil durch andere organische Gruppen ersetzt ist und nennen diese Substanzen Glucoside. Bei Behandlung mit verdünnten Säuren oder anderen Agentien tritt dann sehr häufig eine Spaltung ein, bei welcher das Wasser vermittelt, indem es dem Zucker den Wasserstoff zurückgibt, während der Sauerstoff zu der zweiten Gruppe tritt, deren Oxyd sich dann neben dem Zucker findet. Glucoside.

Körper von solcher Beschaffenheit sind das Salicin, eine in den Weidenrinden und Pappeln sich vorfindende krystallisirbare Substanz, der Schillerstoff (Aesculin) aus der Rinde der Roßkastanie, das Phloridzin, welches sich in der Wurzelrinde der Apfelbäume findet, die Gerbstoffe und viele andere.

Wenn wir schon trotz der Massenhaftigkeit des Vorkommens und der damit gegebenen Erleichterung der Untersuchung bis jetzt die Constitution der Kohlenhydrate und verwandter Stoffe nicht feststellen konnten, so ist unsere dießfällige Kenntniß über die sogenannten eiweißartigen Körper noch viel Albuminoide.

mangelhafter, obwohl auch diese uns reichlich zu Gebote stehen. Sie kommen in den Pflanzen spärlicher vor, charakterisiren aber die höheren Thiere, deren Hauptmasse daraus besteht, während gewisse Kohlenhydrate wohl auch darin auftreten, aber ihrer Menge nach meist fast verschwindend sind. Die Eiweißstoffe (nach einer längst widerlegten Hypothese, welche in ihnen einen gemeinschaftlichen Grundstoff, das Proteïn, annahm, auch zuweilen Proteïnsubstanzen genannt) enthalten neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, auch Stickstoff, und zudem noch unoxydirten Schwefel, vielleicht auch Phosphor. Sie sind nicht krystallisirbar, ohne Geruch und Geschmack, farblos, treten immer mit zahlreichen Salzen, namentlich phosphorsaurem Kalk, Chlornatrium, zuweilen selbst Natronhydrat, verbunden oder gemengt auf und lassen sich gewöhnlich in zwei Modificationen oder Zuständen erhalten, nämlich löslich und coagulirt, geronnen, wo sie im Wasser unlöslich sind. Je genauer man diese für die chemischen Lebensvorgänge in den thierischen Organismen so wichtige Substanzen auf ihr Verhalten und ihre Eigenschaften prüfte, um so verwischter und unklarer wurde ihr Charakter, so daß jeder Name derselben vielleicht einer großen Reihe von Verbindungen gegeben wurde oder vielleicht umgekehrt die beobachteten Unterschiede nur auf gewissen Beimengungen beruhen. Manche dieser Körper finden sich ausschließlich im Thierreiche, andere gleichzeitig in den Pflanzen. Unter Letzteren ist der Eiweißstoff, das Albumin, am verbreitetsten. Man trifft es, wie schon der Name andeutet, im Eiweiß der Vogeleier, in den meisten thierischen Flüssigkeiten, sowie Pflanzensäften. Die charakteristische Eigenschaft des Albumins ist seine Coagulirbarkeit durch Wärme. Wird eine Lösung desselben auf 63° und darüber erhitzt, so scheidet sich der Eiweißstoff in weißen Flocken ab, die sich nun im Wasser nicht mehr lösen. Auch die meisten Säuren bedingen einen solchen Uebergang und fällen coagulirtes Albumin aus seiner Lösung. Lösliches Albumin ist eine blaßgelbe, geruch- und geschmacklose, durchscheinende Masse. Mit Wasser bildet es eine schleimige Flüssigkeit. Wenn ein albuminhaltiger Pflanzensaft, in welchem sich starre Körperchen suspendirt vorfinden, zum Kochen erhitzt wird, wobei sich das Albumin unlöslich abscheidet, so schließt es dabei die suspendirten Theilchen ein und die Flüssigkeit wird klar. Auf dieser Eigenschaft beruht das Klären durch Eiweiß. In den Getreidesamen findet sich neben Stärkemehl, Dextrin, Cellulose, Fett, unorganischen Salzen mehr oder weniger reichlich ein Stoff, welcher die meisten Eigenschaften mit dem coagulirten Albumin gemein hat und daneben noch ein anderer, sehr klebriger, im Weingeist löslicher Stoff, die beide den sogenannten Kleber bilden, indem sie zusammen, mit Wasser angefeuchtet, eine zähe klebende Masse vorstellen, deren Beschaffenheit auch sich in dem mit Getreidemehl angefertigten Teige kund gibt. In den Samen der Hülsenfrüchte trifft man neben Stärkemehl und Cellulose, sowie anderen Substanzen einen Körper, welcher Legumin genannt wird und mit dem ausschließlich in den Thieren auftretenden Käsestoff sehr große Aehnlichkeit zeigt. In seiner Zusammensetzung erinnert er an Albumin, die wässerige Lösung desselben wird durch Kochen nicht coagulirt, dagegen geht das Legumin auf Zusatz von Säure wie der Käsestoff in den unlöslichen Zustand über. Das Caseïn (Käsestoff) ist einer der Hauptbestandtheile der Milch aller Säugethiere, worin es gelöst auftritt, und zwar mit Natron verbunden. Auf Zusatz von Säuren scheidet es sich in weißen Flocken ab. Die Löslichkeit kann durch Hinzubringen von Natron wieder hergestellt werden. Beim Kochen gerinnt gelöster Käsestoff

Eiweißstoff.

Legumin und Käsestoff.

nicht, allein, was für selben charakteristisch ist, es bildet sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit eine farblose Haut. Legumin wie Caseïn werden in einen unlöslichen coagulirten Zustand übergeführt, wenn man sie mit der Schleimhaut des Labmagens der Wiederkäuer in Berührung bringt.

Fleischfibrin. Das *Fleischfibrin* bildet der Hauptmasse nach die Fasern des Muskelfleisches. Man hielt es lange für identisch mit dem Fibrin des Blutes (siehe unten), bis neuere Untersuchungen die Verschiedenheit in der Zusammensetzung beider unzweifelhaft herausstellten. Seiner durchschnittlichen Zusammensetzung und dem übrigen Verhalten nach schließt sich das Fleischfibrin den Proteïnsubstanzen an und enthält reichlich Stickstoff. Ueber seine Constitution ist man aber eben so wenig, wie bei den übrigen Proteïnstoffen im Klaren, auch ist es gleich letzteren unzweifelhaft ein Gemenge von bisher noch nicht isolirten Substanzen.

Blutfibrin. Das Fibrin (*Faserstoff*) unterscheidet sich von allen übrigen eiweißartigen Substanzen durch seine eigenthümliche Coagulirbarkeit; sowie es nämlich mit dem Blute als Lösung aus dem Körper gelangt, beginnt es sogleich auch bei Abschluß der Luft zu gerinnen und scheidet sich binnen Kurzem vollständig unlöslich ab. Es ist dann eine faserige, aus einem Gewirre elastischer Fäden zusammengesetzte farblose Masse, die, falls man das Blut ruhig stehen gelassen, am Boden des Gefäßes den *Blutkuchen* bildet, der von den mechanisch umschlossenen Bluthkörperchen roth gefärbt ist, während die darüber stehende opalisirende Flüssigkeit (das *Blutserum*) sämmtlichen Eiweißstoff enthält, welcher erst beim Erwärmen coagulirt.

Leimgebender Stoff. Von den Albuminoiden ganz verschieden erscheint uns dagegen der *leimgebende Stoff*, den wir in den Knochen, Knorpeln und als leimgebendes Gewebe in der thierischen Haut antreffen. Der Zusammensetzung der Knochen haben wir schon früher Erwähnung gethan. Die phosphorsauren Salze der Bittererde und des Kalks, sowie die kleinen Mengen anderer unorganischer Stoffe, welche sich in den Knochen (zusammen etwa 64%) finden, lösen sich bei Behandlung derselben mit verdünnter Salzsäure völlig auf. Es bleibt dann der organische Stoff zurück, welcher die genannten Salze zur festen Knochenmasse vereinigt. Er bildet, in erwähnter Weise erhalten, eine durchscheinende gallertartige Substanz, die im Wasser völlig unlöslich ist. Bei längerem Kochen damit verwandelt sich selbe aber vollständig in einen löslichen Körper, den allgemein bekannten Leim, ohne dabei seine Zusammensetzung im Geringsten zu ändern. Es erinnert diese Umwandlung an den Uebergang des Stärkemehls in Dextrin. Während nun der leimgebende Stoff der Knochen, der den Namen *Osseïn* erhielt, im Organismus keine bestimmte Gestalt angenommen, zeigt die *Haut* (Membran), welche in ihrer Beschaffenheit mit dem Osseïn sonst völlig übereinstimmt, eine deutliche Textur.

Fäulniß. Alle hieher gehörige Substanzen zeichnen sich durch eine große Zerleglichkeit aus, welche sich namentlich insofern kund gibt, als sie bei Gegenwart von Wasser scheinbar von selbst in kurzer Zeit durchgreifende Zersetzungen erleiden, wobei indeß der erste Anstoß immer von dem Sauerstoff der Luft gegeben ist, welcher eine Oxydation einleitet, die sich zunächst auf Bildung von Wasser beschränkt, indem Wasserstoff aus der Verbindung an Sauerstoff tritt. In dieser Weise wird gleichsam das Gleichgewicht in der so complexen Atomengruppe der Proteïnstoffe gestört und es erfolgt dann, falls die Temperatur nicht zu niedrig oder im Gegentheile zu hoch ist, unaufhaltsam eine

Umlegung der Bestandtheile in einfachere Verbindungen, unter denen Kohlensäure, Wasser, Kohlenwasserstoffe, kohlensaures Ammoniumoxyd, Schwefelammonium und zahlreiche andere lösliche und unlösliche Verbindungen, von welchen die meisten uns noch unbekannt sind, zum Vorschein kommen. Einige derselben verbreiten einen sehr üblen Geruch. Diesen Vorgang, wenn er durch Sauerstoff wohl angeregt, sich jedoch ohne Vermittlung des Letzteren fortsetzt, nennen wir **Fäulniß**, deren Endresultat ein Gemenge kohlenstoffreicher, dunkelgefärbter Substanzen ist. Wenn aber bei derlei Zersetzungen der Sauerstoff ungehindert Zutritt findet, so nimmt er beständig an der Bildung der neuen Zerlegungsprodukte Antheil, so daß endlich eine zwar langsame, aber durchgreifende Oxydation in Gang gebracht wird, die damit endigt, daß sämmtlicher Kohlenstoff in Kohlensäure, der Wasserstoff in Wasser und zum Theil mit dem vorhandenen Stickstoff in Ammoniak, letzteres endlich in Salpetersäure übergeht und **schließlich sämmtliche Bestandtheile der Verbindung in Form von einfachen Substanzen, aus welchen die Pflanze ihre Stoffe neu bildet, in die Atmosphäre wieder zurückkehren.** Man nennt diesen Vorgang **Verwesung** oder, falls er bei spärlichem Luftzutritt sehr langsam stattfindet, **Vermoderung**. Der sogenannte **Humus**, ein Gemenge verschiedener brauner Körper, ist das Produkt der im Boden anwesenden organischen Stoffe, und da er unausgesetzt die erwähnte Oxydation erleidet und somit Kohlensäure abgibt, so erklärt sich daraus, nach dem oben über die Entwickelung der Pflanzen Mitgetheilten, die Fruchtbarkeit humusreicher Bodenarten. Es ist eine Eigenthümlichkeit dieser und ähnlicher Umsetzungsvorgänge complicirter organischer Substanzen, daß diese sich auch auf andere Körper übertragen und diese gleichsam in den Kreis ihrer Umwandlungen hineinziehen, wenn die sich zersetzenden Stoffe damit in Berührung kommen. Die Cellulose der Pflanze z. B. für sich, rein abgeschieden, an der Luft ganz unveränderlich, verfällt der Fäulniß oder Verwesung, wenn die in der Pflanze vorfindlichen Proteïnstoffe derselben unterliegen. Ein Stück faulendes Obst kann viele andere disponiren, ebenfalls zu faulen, welche unverändert geblieben wären, falls man ersteres rechtzeitig beseitigte. Miasmen sind nichts weiter, als in gewissen Zersetzungen begriffene organische Stoffe, welche im Organismus entsprechende Umlegungen hervorrufen, dadurch die normalen chemischen Lebensvorgänge stören und somit Krankheiten erzeugen.

Verwesung. Gährung.

Wir erklären uns diese merkwürdige Wirkung in Umlegung begriffener Substanzen auf andere durch die wohl begründete Annahme, daß bei der chemischen Zersetzung die Atome, aus ihrer Ruhelage gebracht, in Bewegung gerathen und diese Bewegung dann auch auf andere Körper übertragen können. Der erwähnte Erfolg des Contactes ist also hier auf eine Mittheilung der chemischen Bewegung zurückführbar. Man bemerkt dergleichen auch in manchen viel einfacheren Fällen. Platin wird bekanntlich durch Salpetersäure nicht angegriffen. Wenn wir es aber mit Silber legiren und dann mit Salpetersäure erwärmen, so oxydirt sich nicht nur das Silber, sondern auch das Platin, welches durch den Oxydationsprozeß des Silbers bestimmt wurde, in ähnlichem Sinne eine chemische Verbindung einzugehen.

Es gibt nun zahlreiche Zersetzungsvorgänge, welche mit der Fäulniß und Verwesung große Aehnlichkeit zeigen, von diesen aber sich dadurch wesentlich unterscheiden, daß sie, in Berührung mit gewissen Stoffen hervorgerufen, bei diesen einfache Zerlegung in neue Körper veranlassen oder eine

Umlagerung der Atome bedingen, ohne daß die neu entstandenen Produkte mit denen des Zersetzungsprozesses der ersten Substanz in eine nachweisbare Wechselwirkung treten würden. Es ist dieß offenbar auch die Folge der eben erörterten Mittheilung der chemischen Bewegung und wir nennen sie in diesem Falle Gährung. Jener Körper aber, dessen Zersetzung bei dem zweiten die Gährungserscheinungen hervorruft, heißt Ferment. Jede Art von Gährung bedarf eines entsprechenden Fermentes und von diesem auch eine bestimmte Menge, was uns beweist, daß, obwohl die Umlagerungsprodukte des Fermentes mit jenen des Gährungsmaterials keinerlei Verbindungen eingehen, dennoch die Contactwirkung nach bestimmten quantitativen Verhältnissen vor sich geht. Früher war von den hieher gehörigen Phänomenen fast nur die weingeistige Gährung bekannt, durch welche der Zucker in Kohlensäure und Alkohol zerlegt wird. Die Erweiterung unserer Kenntnisse der organischen Verbindungen hat uns mit einer größeren Anzahl von Gährungsprozessen bekannt gemacht, deren Reihe noch keineswegs abgeschlossen ist. Eine der interessanteren hieher gehörigen Erscheinungen ist die Gährung des Amygdalins. Dieser Körper findet sich in den bittern Mandeln und kann durch Behandlung derselben mit Weingeist ausgezogen werden. Er krystallisirt in farblosen kleinen Blättchen, ist im Wasser leicht löslich und nicht giftig. In den süßen und bittern Mandeln findet sich auch ein in Weingeist unlöslicher und stickstoffhaltiger Körper, welcher übrigens in völlig reinem Zustande noch nicht dargestellt wurde und den Namen Emulsin, Synaptase erhielt. Wird eine wässerige Lösung der beiden Körper zusammengebracht, so zerfällt das Amygdalin unter Vermittelung von Wasser augenblicklich in Bittermandelöl, Blausäure und Traubenzucker: $C_{40}H_{27}NO_{22} + 4HO = C_{14}H_6O_2 + C_2NH + 2(C_{12}H_{12}O_{12})$. Hier wirkt also das Emulsin, welches an der Luft augenblicklich sich zu zersetzen beginnt, als Ferment auf das Amygdalin, welches in den trockenen Mandeln sich in der Nachbarschaft des Emulsins ganz unverändert erhält. Ferment. Amygdalin.

Von hohem Interesse sowohl für den Keimungsprozeß der Getreidesamen, als auch für die künstliche Erzeugung von Zucker aus Stärkemehl ist die Wirkung der Diastase. Letztere entsteht beim Keimen der Getreidesamen und besitzt die Fähigkeit, das Stärkemehl zunächst in Dextrin und weiter in Zucker umzuwandeln, was auch in den sich entwickelnden Samen stattfindet, wodurch das darin aufgespeicherte Stärkemehl in einer löslichen Form als Material zur Entwickelung der Pflanze zubereitet wird. Gleich dem Emulsin ist die Diastase noch sehr unvollständig gekannt, doch wissen wir mit Bestimmtheit, daß selbe bei einer Temperatur von 60 — 70° noch weit mehr Stärkemehl in Zucker umzuwandeln vermag, als in dem Getreidekorn selbst sich vorfindet, und man benutzt diese Fähigkeit im umfassendsten Maße bei der Bereitung des Biers und Branntweins. Ueber 75° hinaus erhitzt wird Diastase unwirksam. Zuckergährung.

Das Malz, welches bekanntlich vorzüglich aus Gerste hergestellt wird, enthält durch einen künstlich eingeleiteten Keimungsprozeß entstandene Diastase neben Stärkemehl und den anderen Bestandtheilen des Samens. Um es herzustellen, quellt man zunächst die Gerste in Wasser ein, um ihr die nöthige Feuchtigkeit zuzuführen, breitet sie hierauf auf der Malztenne, einem mit Steinplatten ausgelegten gewölbten Gemache, in einer dünnen Schichte aus, bildet dann größere Haufen daraus und regelt dadurch, sowie verschiedene andere Kunstgriffe, den Keimungsprozeß, der sich bald einstellt, bis die Malz.

Würzelchen der jungen Pflanze etwa doppelt so lang, als das Korn geworden. Dann unterbricht man das Keimen, indem man das grüne Malz entweder an der Luft oder auf Darren trocknet.

Alkoholische Gährung. Hefe. Um aus Zucker Weingeist zu bilden, muß der wässerigen Lösung des ersteren als Ferment Hefe zugesetzt werden. Diese ist eine Pflanze von niederer Organisation, aus einzelnen Zellen bestehend, bildet sich aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen, welche im Traubensafte vorkommen, bei Luftzutritt und bedingt dann während ihres Lebensprozesses die gleichzeitige Umlegung des Traubenzuckers in Kohlensäure und Alkohol: $C_{12}H_{12}O_{12} = 2C_4H_6O_2 + 4CO_2$. So lange die Gährung des Zuckers andauert, bilden sich beständig neue Hefenzellen, bis entweder die Eiweißstoffe des Traubensaftes oder der Zucker völlig verschwunden sind; die Hefenzellen lagern sich unter der Flüssigkeit ab und können, mit neuer Zuckerlösung zusammengebracht, auch in dieser wieder die Gährung hervorrufen. Sind nun in der neuen Zuckerlösung ebenfalls eiweißartige Körper vorhanden, so liefern diese wieder das Material zur Bildung neuer wirksamer Hefe. Im Gegentheil aber sterben die alten Hefenzellen ab, und ihre Fähigkeit, als Ferment zu wirken, geht verloren. Bringt man Hefe und Zuckerlösung bei etwa 6 — 8^0 zusammen, so verläuft die Gährung langsam und die Hefe sammelt sich hauptsächlich unter der Flüssigkeit an, Unterhefe. Solche Hefe erregt nun auch in einer folgenden Zuckerlösung wieder die langsame sogenannte Untergährung. In höherer Temperatur, zwischen 15 und 25^0 etwa, ist die Gährung viel lebhafter, die Hefe häuft sich auf der Oberfläche der gewonnenen Flüssigkeit an und bildet die sogenannte Oberhefe.

Wenn wir oben angegeben haben, daß bei der Gährung der Zucker in Kohlensäure und Weingeist zerfällt, so ist dies nur mit einer gewissen Beschränkung richtig. Der größte Theil des Zuckers liefert allerdings die genannten Produkte, neben diesen entstehen aber auch andere Substanzen, die gleichfalls als normale Produkte der weingeistigen Gährung zu bezeichnen sind. Es sind Bernsteinsäure, Glycerin und Amylalkohol, welcher den Hauptbestandtheil des Fuseloels ausmacht; auch bilden sich, allein nicht immer, Milchsäure und andere Alkoholarten. Die Menge dieser Produkte ist aber stets sehr gering.

Bier.

Das Bier ist eine mit bitteren Extraktivstoffen des Hopfens gewürzte, kohlensäurereiche wässerige Lösung von Dextrin und Weingeist. Als Hauptmaterial seiner Erzeugung ist das Malz zu bezeichnen. Dieses enthält so viel Diastase, daß diese noch eine weit größere Menge Stärkemehl in Dextrin oder Zucker umzuwandeln vermag, als sich in dem Malze selbst findet; man kann daher zur Bereitung von Bier neben Malz noch andere stärkemehlhaltige Materialien benutzen, wie Weizen, Kartoffeln u. dgl. In der Regel aber verwendet man ausschließlich Malz zur Bierbereitung. Dieses muß durch passende Behandlung eine Lösung von Dextrin und Zucker liefern. Es ist daher dabei Aufgabe, die Wirksamkeit der Diastase so zu lenken, daß nicht sämmtliches Stärkemehl in Zucker umgewandelt werde, sondern bei einem gewissen Antheile die Umwandlung sich auf die Bildung von Dextrin beschränke.

Maischen. Um das Malz gehörig ausnützen zu können, wird es vorerst auf Mühlen zu Schrot zerkleinert. Das Malzschrot bringt man hierauf in ein großes meist aus Holz angefertigtes und mit einem Doppelboden versehenes Gefäß, den Maischbottich, und übergießt mit warmem Wasser, hierauf wird umgerührt, das Wasser mit dem Schrot in volle Berührung gebracht und so ein ziemlich dicker Brei hergestellt. Von diesem bringt man einen Theil in die Braupfanne und erwärmt ihn zum Sieden. Die dabei hervorgerufene höhere Temperatur veranlaßt die Thätigkeit der Diastase, es bilden sich Dextrin und Traubenzucker, doch wie die Temperatur 75^0 überschreitet, wird diese

Wirksamkeit unterbrochen, und es kann in diesem Theile der Flüssigkeit keine weitere Zuckerbildung vor sich gehen. Sobald das Sieden eingetreten, schöpft man die heiße Masse in den Maischbottich zurück und rührt sie gehörig ein. Der Inhalt des Maischgefäßes wird dadurch weiter erwärmt, und es beginnt die Wirkung der Diastase in der ganzen Masse. Man schöpft dann wieder einen Theil in die Pfanne, erwärmt bis zum Sieden und bringt wieder in das Maischgefäß zurück. Damit oder durch ein nochmaliges theilweises Kochen und zurückschöpfen hat man das Ganze auf eine Temperatur von 65—70° gebracht und somit die Wirksamkeit der Diastase passend gesteigert. Statt des theilweisen Aufkochens in der Braupfanne, wird nach dem sogenannten Infusionsverfahren allmälig unter zeitweisem Umrühren heißes Wasser auf das Malz gegossen und so ebenfalls die nöthige Steigerung der Temperatur erzielt. Das ganze Verfahren heißt das Maischen. Sobald es beendigt ist, läßt man die Flüssigkeit ruhen und durch Absetzen klären. Es lagern sich die Hülsen des Getreides, eiweißartige Stoffe, unverändertes Stärkemehl u. dgl. ab, wornach man die klare Flüssigkeit mittelst eines Hahnes abfließen läßt, wobei die erwähnten Ablagerungen gewissermaßen als Filtrirmittel dienen.

Die Flüssigkeit heißt nun Würze und enthält neben Dextrin und Traubenzucker verschiedene unorganische Salze, die sich im Getreide vorgefunden haben, auch merkliche Mengen eiweißartiger Stoffe, deren Natur übrigens nicht näher bekannt ist. Sie scheiden sich zum Theil bei dem folgenden Kochen der Würze ab, während ein anderer Theil in der Lösung bleibt und bei der schließlichen Gährung das Material für die Hefe hergibt. Bierwürze.

Der Gewinnung der Würze folgt nun das eigentliche Brauen des Bieres. Man schafft die Würze in die Braupfanne, erhitzt zum Sieden, und setzt die nöthige Menge Hopfen zu. Dieser gibt seine löslichen Bestandtheile an die Würze ab, der größte Theil des flüchtigen aromatischen Oeles aber, welches sich im Hopfen findet, verdampft, und es bleiben nur Spuren davon im Biere zurück. Der Hopfen enthält gewisse Gerb- und Bitterstoffe, die aber sämmtlich noch keiner näheren chemischen Untersuchung unterworfen wurden. Die Gerbstoffe vereinigen sich mit einem Theil der gelösten eiweißartigen Substanzen zu unlöslichen Verbindungen, welche sich in Gestalt von Flocken abscheiden; die Bitterstoffe bleiben in der Flüssigkeit; während des Kochens der Würze verdampft eine merkliche Menge Wasser und die Würze wird concentrirter. Sobald der richtige Grad der Concentration erreicht und der Hopfen gehörig extrahirt ist, muß die Würze möglichst rasch abgekühlt werden, da sie sehr geneigt ist, Zersetzungen zu erleiden, in deren Folge das daraus erzeugte Bier übelschmeckend und schädlich würde. Das Abkühlen läßt man auf den sogenannten Kühlschiffen vor sich gehen, in welche man die heiße Würze schafft. Diese sind große, flache, meist aus Eisenblech angefertigte Gefäße, die in luftigen Lokalitäten aufgestellt sind und in welchen die Würze dem kühlenden Luftzuge eine große Oberfläche darbietet; zuweilen wird noch durch Gebläse und ähnliche Vorrichtungen der Luftwechsel begünstigt und beschleunigt. Auch sind oft in die Kühlschiffe zahlreiche Röhren eingelegt, durch welche man kaltes Wasser fließen läßt, oder man läßt schließlich die Würze durch mit Eis gekühlte Röhren fließen. Brauen. Kühlschiffe.

Sobald die Würze die nöthige Temperaturerniedrigung erfahren hat, wird sie in Gährung versetzt. Diese ist für die Qualität und Haltbarkeit des Bieres von größter Bedeutung. Das fertige Bier ist nämlich nur so lange genießbar, als sich in demselben noch reichlich freie Kohlensäure vorfindet. Diese wird durch die Gährung dem Biere einverleibt, indem ein Theil der dabei entstehenden Kohlensäure im Biere absorbirt zurückbleibt. Sobald die Hauptgährung zu Ende ist, folgt dieser die sogenannte Nachgährung, deren Wesen sich von der Hauptgährung eigentlich nicht unterscheidet und die auf Kosten der noch im Biere zurückgebliebenen eiweißartigen Stoffe und eines kleinen Restes von Hefe und Zucker vor sich geht. Sobald diese Nachgährung endlich aufgehört hat, entweicht allmälig die absorbirte Kohlensäure, welche nun nicht mehr durch einen Gährungsproceß ersetzt wird, das Bier wird schal und verfällt bald der Essigbildung. Je länger nun die eigentliche Gährung dauert, um so länger setzt sich die Nachgährung fort, und um diese möglichst hinauszuziehen, pflegt man das Bier auch in kalten Localitäten, wie Eis- oder Felsenkellern, lagern zu lassen. Wie schon oben angeführt wurde, verläuft die Gährung mit Oberhefe rasch und in höherer Temperatur, in Folge dessen ist auch die Nachgährung eine verhältnißmäßig kurze und das Bier nicht lange haltbar. Die mit Unterhefe versetzte Bierwürze gährt weit langsamer und die Nachgährung dauert namhaft länger. Die eigentlichen Lagerbiere sind daher sämmtlich Unterhefenbiere. Man läßt die Untergährung des Bieres in großen offenen Bottichen vor sich gehen, sie nimmt etwa 14 Tage in Anspruch und die Gährlokalitäten

werden auf 5—7° Kühle erhalten. Bei der Obergährung läßt man eine Temperatur von 15—20° herrschen; man bringt dabei das Bier in Fässer, aus deren offenen Spundöffnungen während der etwa 3 Tage dauernden Gährung, Schaum und Hefe ausgestoßen werden.

Es ist klar, daß die Zusammensetzung der Würze, der Verlauf der Gährung und die Art der Lagerung des Bieres auf seine Beschaffenheit den größten Einfluß ausüben. Durchschnittlich enthalten die gewöhnlichen Biersorten neben etwas eiweißartigen Stoffen und unorganischen Salzen 5—6 % Dextrin, 3 bis 4 % Weingeist und 0,2 % Kohlensäure. Den Geschmack bedingen Extraktivstoffe des Hopfens und des Malzes, die, wie erwähnt, nicht näher bekannt sind.

Branntwein.

Bekanntlich wird eine große Quantität stärkemehlhaltiger Materialien zur Herstellung von wasserhaltigem Weingeist (Branntwein, Spiritus) verwendet. Auch hier ist die Diastase das Mittel, zunächst den Zucker zu erzeugen, welcher bei der Gährung den Weingeist liefern soll. Im Gegensatze zur Biererzeugung handelt es sich aber hier keineswegs darum, einen Theil des Stärkemehls blos in Dextrin umzuwandeln, sondern der Gehalt des Malzes an Diastase soll möglichst vollständig ausgenützt werden, weshalb man neben Malz immer noch eine gewisse Menge anderer stärkemehlhaltiger Materialien gleichzeitig in Anwendung bringt. Als solche sind zu bezeichnen Kartoffeln und Getreide. Letzteres pflegt man in Gestalt von Schrot anzuwenden, und die Erfahrung lehrt, daß die Ausbeute eine bessere ist, wenn man zweierlei Getreidearten gleichzeitig verwendet. Meistens wird ein Gemenge von Weizen und Korn benutzt. Die Kartoffeln werden früher weich gekocht. Dies geschieht in der Regel, indem man sie in großen Kufen der Wirkung von einströmendem Wasserdampf aussetzt; sie werden dann noch heiß zwischen Walzen zu einem Brei zerquetscht, und ohne sie abkühlen zu lassen, mit der entsprechenden Menge von Malzschrot in den Maischbottichen mit warmem Wasser angerührt. Bei Anwendung von Getreide mischt man das Schrot mit dem Malze und setzt auch hier warmes Wasser zu. Alsbald beginnt die Wirkung der Diastase. Die Flüssigkeit wird dünner, nimmt einen süßen Geschmack an, wornach man neuerdings warmes Wasser zusetzt und so unter zeitweiligem Umrühren endlich die Temperatur bis auf 70° steigert und dann das Ganze sich selbst durch einige Zeit überläßt. Wo Dampfkessel zur Verfügung stehen, wie in den meisten größeren Brennereien, wird gleich von vorn herein die nöthige Menge Wasser mit dem Material zusammengebracht, und Wasser-Dampf hinzugeleitet, bis die richtige Temperatur erreicht ist. Auch hier lagern sich Getreidehülsen u. s. w. ab; die Zuckerlösung wird aber nicht davon befreit, da man den daraus entstehenden Weingeist durch Destillation gewinnt. Nach erfolgter Zuckerbildung setzt man die nöthige Menge kaltes Wasser zu, um die Flüssigkeit auf etwa 20° abzukühlen; auch benutzt man nicht selten Eis zu diesem Zwecke oder Kühlschiffe. Die Gährung wird durch Zusatz von Oberhefe eingeleitet, und man läßt sie in warmen Lokalitäten vor sich gehen, damit sie rasch verlaufe, da hier auf die, für das Bier so wichtige, Nachgährung keine Rücksicht genommen zu werden braucht.

Das Branntweinbrennen. Sobald die Gährung vollendet ist, schreitet man zur Destillation der weingaren Maische. Da und dort wird diese in einfachen Destillirblasen vorgenommen; meistens benutzt man aber complicirte Apparate, welche trotz ihrer Kostspieligkeit den Vortheil darbieten, daß man unmittelbar aus der Maische einen starken Weingeist erhält, während die einfachen Brennblasen anfangs ein sehr schwaches Produkt liefern, welches erst durch mehrmaliges wiederholtes Destilliren auf den nöthigen Grad von Stärke gebracht werden muß. Bei den einfachen Destillirblasen gelangt das S. 486 erörterte Princip der Rektifikation in der Weise zur Anwendung, daß man die Maische einmal so weit destillirt, als überhaupt noch wässeriger Alkohol übergeht, dann den Rückstand, die Schlempe, herausschafft und den übergegangenen Weingeist neuerdings destillirt, was allenfalls noch einmal durchgeführt werden kann. Diese Andeutungen zeigen, daß das Verfahren großen Zeitverlust und namhaften Aufwand an Brennmaterial bedingt. Bei den complicirten Destillirblasen sind zwischen der Kühlvorrichtung, welche gewöhnlich aus einem verzinnten Schlangenrohr besteht, und der eigentlichen Destillirblase mehrere Apparate eingeschaltet, die dazu dienen, die Weingeistdämpfe immer mehr vom Wasser zu befreien, so daß nur Dämpfe von starkem Alkohol in den Condensator gelangen können. Die Abkühlung des auf seinem Wege befindlichen Weingeistdampfes läßt man übrigens zum Theil durch die Maische selbst besorgen, und diese wird dabei gleichzeitig ohne Kosten so weit erwärmt, daß sie, sobald man sie in die Destillirblase

schafft, alsbald zu sieden beginnt. Meistens betreibt man derlei Apparate nicht mit direkter Feuerung, sondern mit Dampf, den man in die Maische leitet. In der Regel sind zwei Destillirblasen im Gebrauch, wovon die eine über die andere so gestellt ist, daß man mittelst einer, durch ein Ventil verschließbaren, Röhre die Maische in die untere Blase ablassen kann. Die Dämpfe, welche sich aus der unteren Blase entwickeln, gehen durch eine gebogene Röhre bis nahe an den Boden der zweiten Blase und erhitzen die dort befindliche Maische so weit, daß sich Weingeistdämpfe entwickeln. Dieses wird so lange fortgesetzt, bis die in der ersten Blase befindliche Maische vollständig ihren Weingeist abgegeben hat, wornach man die untere Blase entleert, den Inhalt der oberen in die untere schafft und die obere Blase mit vorgewärmter frischer Maische füllt. Es ist klar, daß die in die zweite Blase aufsteigenden Dämpfe keine so hohe Temperatur haben können, wie der in die erste Blase aus dem Wasserkessel eingeführte Wasserdampf, somit kann sich aus der zweiten Blase nur ein wasserärmerer Spiritus verflüchtigen, der nun auf seinem Wege weiter vom Wasser befreit wird. Man läßt den Weingeistdampf nämlich meistens in ein geräumiges Gefäß treten, dessen Wände durch Maische gekühlt werden. Dieses führt den Namen **Vorwärmer**. Ein guter Theil des Weingeistes wird darin zunächst verdichtet, während ein anderer dadurch von seinem Wasser befreit und alkoholreicher gemacht seinen Weg weiter fortsetzt. Auch hier werden die aus der zweiten Blase nachströmenden Dämpfe gezwungen, durch den condensirten Weingeist durchzugehen, und dann beginnt dort gleichfalls eine Destillation, in deren Folge sich starker Weingeist verflüchtigt. Den Rückstand läßt man von Zeit zu Zeit in die zweite Blase fließen. Die Dämpfe gehen aus dem Maischwärmer dann gewöhnlich in die sogenannten **Dephlegmirapparate**. Es sind dieses breite aus zwei flachen Kegeln zusammengesetzte Gefäße, deren Decke mit einem Rand versehen ist, so daß sie eine Schale bildet, in welcher sich lauwarmes Wasser befindet. Die Dämpfe treten unten ein, breiten sich in diesem Becken aus und verlieren durch Condensation wieder einen Theil ihres Wassergehaltes. Dabei wird der Weingeist immer concentrirter und sein Dampf tritt endlich aus diesen Becken, von denen 2 bis 3 über einander angebracht sind, in das Kühlrohr. Auch das in dem Dephlegmirapparat verdichtete Produkt fließt in die Destillirvorrichtungen zurück, so daß von dem auf seinem Wege verdichteten Weingeistgehalte der Maische nichts verloren geht. Man kann in solcher Weise direct Weingeist erhalten, der 80 bis 85 % reinen Alkohol im Reste Wasser enthält.

Brod.

Das Brod bietet in seiner Zusammensetzung im Ganzen wenig wesentliche Unterschiede gegenüber dem Mehle dar, aus welchem wir es bereiten. Gleich der Milch ist das Mehl so zusammengesetzt, daß es alle jene organischen und unorganischen Stoffe enthält, welche zur Ernährung erforderlich sind. Wir haben sie Seite 588 bereits aufgezählt. Als Kohlenhydrate treten darin Stärkemehl und Dextrin auf; die Proteïn-Substanzen sind durch den Kleber repräsentirt. Im rohen Zustande erscheinen diese Nahrungsmittel als schwierig assimilirbar; sie werden weit leichter verdaulich, wenn man sie mit Wasser befeuchtet, erwärmt, wie überhaupt passendes Erwärmen bei den meisten Nahrungsmitteln die Verdaulichkeit derselben namhaft erhöht, ohne daß bis jetzt die Chemie im Stande gewesen wäre, im Einzelnen die Veränderungen aufzufinden, welche die, unter Vermittelung der Wärme hergerichteten Speisen, von dem rohen Material unterscheiden. Wenn wir auch vielerlei Methoden kennen und ausüben, das Getreidemehl in wohlschmeckende Speisen umzuwandeln, so ist doch das Brod die am allgemeinsten benützte Form, in welcher wir das Mehl genießen. Wir verlangen vom Brod eine gewisse Lockerheit und Porosität, und diese wird demselben dadurch ertheilt, daß man in dem mittelst Wasser angefertigten Teig die weingeistige Gährung hervorruft, in deren Folge sich in der Masse reichlich Kohlensäure entwickelt, die aus dem zähen Teige nicht entweichen kann, beim Ausbacken durch die Erhitzung sich ausdehnt und dadurch die zellige blasige Beschaffenheit des Brodes bewirkt.

In dem Getreidemehl selbst ist kein Zucker vorhanden, wenn man aber einen Teig daraus anfertigt und diesen mit Hefe mischt, so erleidet die letztere, so wie der Kleber, eine theilweise Veränderung, wodurch den Zersetzungsproducten, die dabei auftreten, eine der Diastase ähnliche Wirksamkeit gegeben wird, und ein Theil des vorhandenen Dextrins geht in Traubenzucker über. Dieser zerfällt unter Vermittelung der Hefe in Kohlensäure und Weingeist. Statt Hefe anzuwenden, bedient man sich häufig des sogenannten Sauerteigs. Dieser ist ein ursprünglich mit Hefe versetzter Brodteig, den man von einem vorhergehenden Backen aufbewahrt hat und einer neuen Menge frischen Teigs zusetzt. Bei dem Aufbewahren, welches übrigens nicht zu lange dauern darf,

geht die weingeistige Gährung zum Theil in die Milchsäuregährung über, d. h. der Zucker verwandelt sich in Milchsäure, während zudem ein Theil des Weingeistes zu Essigsäure wird. Das Product ist demnach sauer und bewirkt auch in dem Teige, welchem man es beimischt, die Neigung gleichfalls Milchsäure hervorzubringen; doch erregt der Sauerteig auch die weingeistige Gährung und wirkt demnach der Hefe ähnlich. Bei seiner Verwendung setzt man dem Sauerteig zunächst eine beschränkte Menge frischen Teiges zu und sobald die Gährung eingetreten, wird das Ganze mit noch mehr Mehl angeknetet und wieder die Gährung eintreten gelassen, wornach man erst die ganze größere Menge des Mehles zuknetet und hierauf zum letzten Mal die Gährung eintreten läßt. In allen Fällen nimmt man das Gähren, Gehen des Teiges, in warmen Localitäten vor. Sobald es gehörig vorgeschritten, werden die Laibe geformt und in die Backöfen gebracht. Diese sind gewöhnlich von sehr einfacher Construction und stellen muffelförmige Heerde vor, deren vordere Oeffnung, das sogenannte Mundloch, zum Eintragen und Herausholen dient, während der entgegengesetzte Theil durch mehrere Füchse mit dem Schornstein in Verbindung gesetzt ist. Vorn wird nun Feuer angemacht und sobald der Ofen die nöthige Temperatur hat, die Gluth beseitigt und das Brod eingeschossen. Der Hitzegrad in einem Backofen beträgt beiläufig 200—250⁰. Das Brod erleidet aber nur an seiner Oberfläche eine dieser Temperatur entsprechende Veränderung, denn im Innern der Masse steigt die Hitze kaum auf 100⁰, da reichlich Wasser verdampft und dieses die zugeführte Wärme beständig wieder wegnimmt. Zudem entweicht auch der Weingeist und ein guter Theil der Kohlensäure. Das Stärkemehl erleidet beim Backen eine ähnliche Veränderung, wie beim Erwärmen mit Wasser; es quillt etwas auf, ohne seine wesentlichen Eigenschaften einzubüßen, und wird dabei leichter verdaulich. Welche Veränderungen der Kleber erleidet, ist nicht bekannt. Die Rinde enthält Dextrin, welches durch Erhitzen des Stärkemehls entstanden ist, ferner eine Anzahl nicht näher bekannter Zersetzungsproducte, von denen einige die Farbe der Rinde bedingen. Da, wie überall, bei der Broderzeugung, wenn sie auf einen großen Absatz rechnen kann, ein fabriksmäßiger Betrieb namhaften Vortheil bringt, so sind in großen Städten Bäckereien eingerichtet worden, wo Maschinen das Ankneten des Teiges, Formen der Laibe u. s. w. bewerkstelligen, und größere Backöfen, die meistens von Außen continuirlich beheizt werden, zur Anwendung kommen. Man erhält durchschnittlich aus 100 Theilen Mehl 125 Theile Brod. Diese Gewichtsvermehrung rührt von dem Wasser her, welches man zusetzt, indem dieses beim Backen keineswegs vollständig fortgetrieben wird. In Wirklichkeit erleidet man einen namhaften Verlust an Mehlsubstanz, der beiläufig 6% beträgt und seinen Grund in der dem Backen vorhergehenden Gährung hat, wo Stärkemehl in Weingeist und Kohlensäure übergeht, die beim Backen sich unbenützt verflüchtigen. Man hat daher mancherlei andere Mittel vorgeschlagen, dem Teige mit Umgehung der Gährung eine lockere Beschaffenheit zu ertheilen. Das einzige Verfahren, welches in der Praxis da und dort, namentlich in Australien, Eingang gefunden hat, besteht darin, daß man dem Teige zunächst doppelt kohlensaures Natron zuknetet und dann die aequivalente Menge von Salzsäure zusetzt; die sich dabei reichlich entwickelnde Kohlensäure lockert den Teig auf und gleichzeitig bildet sich Kochsalz, welches man ohnehin dem Teige zuzusetzen pflegt.

Backöfen.

Brodfabriken.

Ausbeute.

Absoluter Weingeist.

Aus dem käuflichen Branntwein, über dessen Gewinnung wir oben berichtet, kann man sich reinen sogenannten absoluten Alkohol verschaffen. Der käufliche Weingeist enthält beiläufig 75% Alkohol. Letzterer siedet bei 78⁰. Trotz dieses niedrigen Siedepunktes aber läßt er sich durch wiederholte sorgfältige Destillation nicht vollständig von dem beigemengten Wasser trennen, da sich beständig den Dämpfen des Alkohols Wasserdämpfe beimischen. Wenn man aber schließlich entwässernde Substanzen, wie z. B. Aetzkalk oder Chlorcalcium oder, noch besser, scharf ausgetrockneten Kupfervitriol mit durch Rectification möglichst entwässerten Alkohol zusammenbringt und dann neuerdings destillirt, so erhält man endlich den Weingeist wasserfrei. Reiner, absoluter Alkohol ist farblos, sehr beweglich, schmeckt brennend, riecht eigenthümlich, angenehm, hat ein spec. Gewicht von 0,792, erstarrt selbst in der strengsten Kälte nicht, sondern wird nur dickflüssig, und brennt mit wenig leuchtender Flamme. An der Luft zieht er Feuchtigkeit an und wird wasserhaltig; er mischt sich überhaupt mit Wasser in allen Verhältnissen, wobei eine Erwärmung und Zusammenziehung erfolgt. Wasserfreier Alkohol ist giftig. Die Wirkungen des mit Wasser gemengten auf den Organismus sind bekannt.

Im Alkohol finden wir den Repräsentanten einer ganzen großen Gruppe von chemischen Verbindungen, die unter sich hinsichtlich ihres chemischen Characters, der

Zusammensetzung und Entstehung ihrer Zersetzungsproducte und so fort die vollkommenste Analogie darbieten, so daß der Name Alkohol jetzt als Gattungsname angewendet wird und der eben besprochene Weingeist als Weinalkohol von den übrigen zu unterscheiden ist. Die Zusammensetzung des Weinalkohols wird durch die Formel $C_4H_6O_2$ wiedergegeben. Seine verschiedenen Umwandlungen beweisen uns, daß in demselben sich ein zusammengesetztes Radikal von der Formel C_4H_5 befindet, welches den Namen Aethyl erhalten hat und im Weingeist als Oxydhydrat vorhanden angenommen wird, so daß nach dieser Voraussetzung die rationelle Formel des Weingeistes C_4H_5O,HO ist.

Das Aethyloxyd ist gleich dem Weingeiste, aus welchem es stammt, ein Vorbild für eine ganze Reihe ähnlich constituirter Körper. Betrachten wir zunächst seinen chemischen Character, so stellt sich heraus, daß dieses Oxyd mit den Säuren Verbindungen eingeht, die in ihrer Zusammensetzungsweise völlig an die Salze der unorganischen Basen erinnern. Man erhält sie in der Regel durch Erwärmen der betreffenden Säurehydrate mit Alkohol oder diesen gemengt mit Schwefelsäure. Die äußeren Eigenschaften dieser Aethyloxydsalze, welche man auch häufig zusammengesetzte Aether nennt, sind aber von denen der gewöhnlichen Salze wesentlich verschieden. Sie bilden meistens Flüssigkeiten von angenehm aromatischem, ziemlich starkem Geruch, die sich in der Regel unverändert verflüchtigen, im Wasser schwer lösen, mit Weingeist und Aether aber in allen Verhältnissen mischen lassen. Versucht man mittelst Behandlung mit einem gewöhnlichen Sauerstoffsalze durch Doppelzersetzung neue Aethersalze zu erzeugen, so stellt sich heraus, daß in den letzteren die Säure viel inniger gebunden ist, als in den ersteren, denn es findet kein Austausch der Bestandtheile statt. Nur in seltenen Fällen gelingt es, das Aethyloxyd unmittelbar mit der Säure zu vereinigen; gewöhnlich muß das Salz durch Einwirkung der Säure auf das Hydrat des Aethyloxyds hervorgebracht werden. Alle Aethyloxydsalze, welche in ihrer Zusammensetzung dem Typus der neutralen Salze entsprechen, sind auch vollkommen neutral und keine derlei Verbindung des Aethers enthält Wasser. Obwohl das Aethyloxyd eine schwache Base ist, so widerstehen seine Salze der Einwirkung der kräftigsten Basen, wie Kali oder Natron, bedeutend, denn nur durch längeres Kochen mit concentrirteren Lösungen desselben wird allmälig das Aethyloxyd ausgeschieden, wobei es aber immer, gleich vielen unorganischen Oxyden, Wasser bindet und sich als Hydrat (Alkohol) verflüchtigt. Aus diesen Andeutungen ergibt sich, daß einerseits wohl eine große Aehnlichkeit des Aethyloxyds mit unorganischen Basen vorhanden, daß jenes namentlich gleich den Letzteren die Säuren vollkommen zu sättigen im Stande ist, daß sich aber andererseits, besonders in Bezug auf die äußeren Eigenschaften, bedeutende Unterschiede bemerklich machen. Aethyloxyd.

Unverbundenes Aethyloxyd entsteht aus dem Alkohol beim Erwärmen desselben mit Chlorzink, Zinnchlorid und anderen Substanzen, namentlich aber durch Erhitzen der bald zu beschreibenden Aetherschwefelsäure, wobei es sich mit Wasser gemengt verflüchtigt und von letzterem durch Destillation über gebrannten Kalk oder Chlorcalcium befreit werden kann. Die Verbindung wird häufig auch Aether oder Schwefeläther genannt. Sie ist farblos, sehr beweglich, hat ein spec. Gew. von 0,73, erstarrt bei -44^0 zu einer weißen blättrig krystallinischen Masse, siedet bei $+35^0$, entzündet sich leicht und besitzt einen durchdringenden eigenthümlichen Geruch. 10 Theile Wasser lösen 1 Theil Aether auf. Weingeist läßt sich in allen Verhältnissen damit mischen. Viele unorganische Sauerstoff- und Haloidsalze und andere Körper sind darin völlig unlöslich, dagegen nimmt Aether reichlich Fette, Harze, ätherische Oele und andere Substanzen auf.

Das kohlensaure Aethyloxyd, C_4H_5O,CO_2, ist eine farblose Flüssigkeit, welche einen sehr angenehmen erfrischenden Geruch besitzt, aromatisch schmeckt und bei 126^0 siedet. Das salpetrigsaure Aethyloxyd, C_4H_5O,NO_3, ist weit flüchtiger, denn es siedet schon bei 16^0. Es hat einen angenehmen obstartigen Geruch und ist blaßgelb gefärbt. Die salpetersaure Verbindung dagegen ist farblos und siedet bei 85^0. Neutrales schwefelsaures Aethyloxyd, C_4H_5O,SO_3, stellt eine ölartige Flüssigkeit von pfeffermünzähnlichem Geruch dar, welche sich aber beim Erwärmen leicht zerlegt und daher nicht völlig unverändert destillirt werden kann, im Gegensatze zu den meisten anderen Aethyloxydsalzen. Selbst Kieselsäure liefert mit Aethyloxyd flüchtige stark riechende Verbindungen. Salze des Aethyloxyds.

Wird Alkohol mit Schwefelsäurehydrat gemengt, so entsteht die Aetherschwefelsäure, C_4H_5O,SO_3+SO_3HO. Diese Säure, welche man auch als saures, schwefelsaures Aethyloxyd zu bezeichnen pflegt, ist eine ölartige, farb- und geruchlose Flüssigkeit, welche sich mit Wasser und Weingeist in allen Verhältnissen mengen läßt. Wir können diese Säuren mit den verschiedensten Basen zu löslichen, meist leicht krystalli- Aetherschwefelsäure.

sirbaren Salzen vereinigen. Da auch jene mit Bleioxyd und Baryt, Kalk und anderen Basen, welche mit gewöhnlicher Schwefelsäure sehr schwer lösliche Salze liefern, von Wasser leicht aufgenommen werden, so ergibt sich aus diesem Umstande schon, daß die Aetherschwefelsäure nicht etwa wie saures schwefelsaures Kali ($KO,SO_3 + SO_3,HO$) constituirt sei, sondern die Schwefelsäure hier in einer eigenthümlichen Verbindungsweise auftritt, wobei sie aber ihre Fähigkeit, das Hydratwasser gegen ein Metalloxyd auszutauschen, nicht eingebüßt hat. In der That ist die Aetherschwefelsäure eine Verbindung des neutralen schwefelsauren Aethyloxyds mit Schwefelsäurehydrat. Letzteres behauptet dabei seinen wesentlichsten chemischen Character als Säure und wird darin durch die Gegenwart des schwefelsauren Aethyloxyds nicht beirrt. Dieses als ein chemisch indifferenter Körper hängt der Schwefelsäure gleichsam an. Solche eigenthümliche Verbindungsweisen treten bei organischen Substanzen nicht selten ein, welche dann

Gepaarte Verbindungen.

gepaarte Verbindungen genannt werden. Der Körper aber, der den zweiten, (wie hier die Schwefelsäure) begleitet, ohne diesen in seinen gewöhnlichen Functionen zu stören, wird Paarling genannt. In der Aetherschwefelsäure ist somit das Aethyloxydsalz der Paarling. Letzterer hat in manchen gepaarten Verbindungen, für sich gedacht, einen ganz entschiedenen chemischen Character, z. B. den einer Säure, welchen er aber einbüßt, sobald er als Paarling mit einem anderen Stoffe sich vereinigt hat.

Mandelsäure.

Ein anderes interessantes Beispiel einer gepaarten Verbindung liefert uns die Mandelsäure. Diese bildet sich, wenn man Bittermandelöl, $C_{14}H_6O_2$, mit Blausäure und Chlorwasserstoff erwärmt. Wir haben oben gesehen, daß Blausäure mit stärkeren Mineralsäuren beim Erwärmen Ameisensäure und Ammoniak liefert. Dies findet nun auch hier statt. Es entsteht Salmiak, aber die Ameisensäure vereinigt sich im Entstehungsmomente mit dem Bittermandelöl zu der gepaarten Mandelsäure: $C_{16}H_7O_5,HO = C_{14}H_6O_2 + C_2HO_3,HO$, die sich aus der wässerigen Lösung in deutlichen Krystallen erhalten läßt. Bei Einwirkung von solchen Substanzen, welche die Ameisensäure zerstören, wie Mangansuperoxyd u. dergl., kömmt das Bittermandelöl wieder mit seinen ursprünglichen Eigenschaften zum Vorschein.

Darstellung des Aethers.

Aus der Aetherschwefelsäure kann man das Aethyloxyd austreten lassen, während die Schwefelsäure als Hydrat mit ihrer gewöhnlichen Beschaffenheit wieder erzeugt wird. Es gelingt dies leicht, wenn man die Säure so weit mit Wasser verdünnt, daß ihr Siedepunkt bei 126° liegt. Sie zerfällt dann in Aether und Schwefelsäurehydrat: $C_4H_5O,SO_3 + SO_3HO + HO = C_4H_5O + 2(SO_3,HO)$; auf diesem Verhalten beruht auch das gewöhnliche Verfahren bei Bereitung des Aethers. Man mengt 5 Theile Alkohol von 90% mit 9 Theilen englischer Schwefelsäure, bringt die so erzeugte Aetherschwefelsäure in eine mit gut gekühlter Vorlage versehene Retorte und erwärmt zum Sieden. Alsbald verflüchtigt sich Aether mit Wasserdampf. Es geht nun ganz leicht, die dabei frei werdende Schwefelsäure sogleich wieder zur Bildung von Aetherschwefelsäure und weiter von Aether zu benutzen, indem man durch den Tubulus der Retorte einen dünnen Strahl von Alkohol in dem Maße nachfließen läßt, als Aether und Wasser überdestilliren. Da nämlich der einfließende Alkohol im Augenblicke seines Anlangens in der Retorte dort, wo er mit der Schwefelsäure zusammentrifft, eine Temperaturerniedrigung hervorruft, so bildet sich augenblicklich Aetherschwefelsäure, die aber binnen Kurzem wieder auf 126° erwärmt, dann in Schwefelsäure und Aether zerfällt. In dieser Weise läßt sich bei gehöriger Vorsicht in Festhaltung der Temperatur des Retorteninhaltes eine sehr bedeutende Menge Weingeist durch eine beschränkte Quantität

Katalyse.

Schwefelsäurehydrat in Aether und Wasser zerlegen. Diese Thatsache, welche früher bekannt war, als die dabei stattfindenden chemischen Vorgänge, hat seiner Zeit zu der Annahme geführt, daß der Schwefelsäure und anderen ähnlich wirkenden Körpern eine eigene Kraft innewohne, deren Wirkung sich in einer chemischen Umwandlung gewisser damit in Berührung gebrachter Substanzen äußere, ohne daß die mit besonderer Kraft ausgestatteten Stoffe eine chemische Veränderung erlitten. Diese hypothetische Kraft erhielt den Namen katalytische Kraft.

Erwärmt man Alkohol mit den Wasserstoffsäuren der Haloide, so entstehen die entsprechenden Haloidsalze des Aethers. Das Chloräthyl, C_4H_5Cl, hat einen durchdringenden Geruch und siedet bei 11°. Das Brom- und Jodäthyl sind schwerer als Wasser, sieden bei 41° und 70° und riechen ebenfalls heftig ätherartig. Auch mit Schwefel hat man das Aethyl in mehreren Verhältnissen verbunden und überhaupt mit diesem interessanten Radikal alle Verbindungsweisen der Metalle nachgeahmt.

Aethyl.

Aus dem Jodäthyl läßt sich durch Erwärmen mit metallischem Zink unter gleichzeitiger Bildung von Jodzink das Aethyl, C_4H_5, im isolirten Zustande abscheiden. Es ist ein geruch- und farbloses Gas, welches sich bei mäßig starkem Druck zu einer farb-

losen Flüssigkeit condensirt. Das isolirte Aethyl vereinigt sich aber mit den negativen Elementen nicht direkt. Auch eine Verbindung des Aethyls mit Wasserstoff, den Aethylwasserstoff, C_4H_5,H, hat man dargestellt. Ein anderer Kohlenwasserstoff, welcher mit dem Aethyl in einem sehr einfachen Zusammenhange steht, ist das bereits Seite 501 besprochene ölbildende Gas, C_4H_4, von welchem wir erzählt haben, daß es rein durch Erwärmen von Alkohol mit überschüssiger Schwefelsäure dargestellt werden kann.

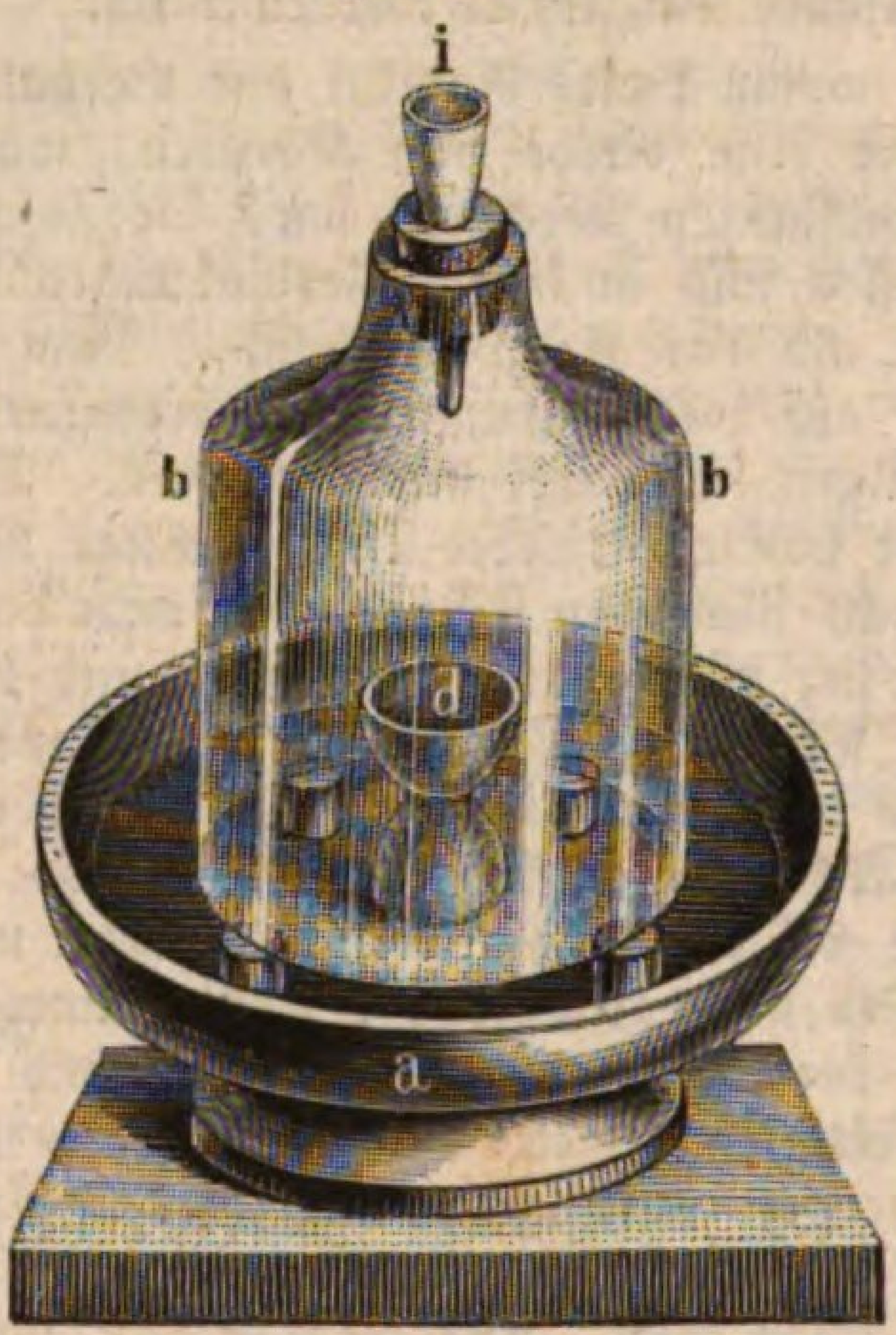
Abgesehen von den Verbindungen des Aethyls, worin dieses Radikal das Verhalten eines Metalles so genau nachahmt, kennen wir noch eine Reihe von Körpern, worin sich Aethyl mit Metallen zu sehr merkwürdigen Substanzen vereinigt hat, die zusammengesetzte Radikale einer höheren Ordnung vorstellen und in ihren Verbindungen den einfachen Metallradikalen noch weit näher kommen, als das Aethyl für sich. Man erhält diese Radikale durch Einwirkung von Jodäthyl auf die Legirungen der betreffenden Metalle mit Kalium oder Natrium. Letztere vereinigen sich dabei mit dem Jod. Das Aethyl tritt dann an das zweite Metall und bildet damit entweder eine flüchtige Verbindung, welche sich abdestilliren läßt oder einen nicht flüchtigen Körper, den man durch Aether, Weingeist und ähnliche Lösungsmittel von der rückständigen Legirung und dem Jodmetalle trennt. Mit einigen Metallen vereinigt sich das Jodäthyl direkt und indem demselben das Metall einverleibt wird, entsteht das neue Radikal, welches zugleich mit dem Jod in Verbindung bleibt. Auch Tellur und Arsen lassen sich mit dem Aethyl zu derlei eigenthümlichen Radikalen vereinigen. Diese bilden im isolirten Zustande meistens farblose, ölartige oder zähe Flüssigkeiten. Die Verwandtschaft der Aethylmetalle zu Sauerstoff, Schwefel und den Haloiden ist in der Regel höchst bedeutend und die Verbindungen finden direkt, meistens mit großer Heftigkeit, statt. Die Oxyde, welche ein, zwei, auch zuweilen noch mehr Atome Sauerstoff enthalten, sind sehr kräftige Basen, die mit den Sauerstoffsäuren häufig deutlich krystallisirte Salze liefern. Die Haloidsalze ahmen in ihrer Zusammensetzung die Oxyde nach. Alle diese Salze unterscheiden sich von den salzartigen Verbindungen des Aethers und ähnlicher Radikale schon dadurch, daß mittelst Doppelzersetzung Säuren und Haloide wie bei den gewöhnlichen Metallsalzen leicht auf andere Radikale übertragen werden können. Es mag genügen, wenn wir dieser allgemeinen Charakteristik die Namen und Formeln einiger der wichtigeren Verbindungen dieser Art folgen lassen: Telluräthyl, C_4H_5Te; Telluräthyloxyd $(C_4H_5Te)\,O$; Stannäthyl, C_4H_5Sn; Stannäthyloxyd $(C_4H_5Sn)\,O$; Bismäthyl $3\,(C_4H_5)\,Bi$; Zinkäthyl, C_4H_5Zn; Stibäthyl, $3\,(C_4H_5)\,Sb$; Stibäthyloxyd, $3\,(C_4H_5)\,Sb, O_2$; Chlorstibäthyl $3\,(C_4H_5)\,Sb, Cl_2$ u. s. w. Aethylmetalle.

Mit dem Aethyl steht ein anderes Radikal in einem sehr einfachen Zusammenhange, welches sich von dem ersteren durch einen Mindergehalt von 2 Atomen Wasserstoff unterscheidet. Es ist dies das Acetyl, C_4H_3, das sich mit 3 Atomen Sauerstoff verbunden, in der Essigsäure vorfindet, deren Hydrat die Formel: $C_4H_3O_3,HO$ hat. Es ist aus der Vergleichung der Formel des Alkohols mit jener des Essigsäurehydrates ersichtlich, daß das Aethyl des ersteren nur 2 Atome Wasserstoff abzugeben und dagegen 2 Atome Sauerstoff aufzunehmen braucht, um den Alkohol in Essigsäurehydrat übergehen zu lassen. In der That entsteht die Essigsäure leicht aus dem Weingeiste, wenn man diesen unter passenden Verhältnissen dem Einflusse oxydirender Körper aussetzt; doch findet die Umwandlung in zwei Perioden statt, wovon die erste die Abscheidung des Wasserstoffes einschließt, während in der zweiten erst der Sauerstoff aufgenommen wird. Wir können das Produkt der ersten Einwirkung des Sauerstoffes isoliren. Es hat nach dem eben mitgetheilten die Formel: $C_4H_5O,HO - 2H = C_4H_3O,HO$ und wird Aldehyd oder, da sich darin ein niedrigeres Oxyd des Acetyls mit Wasser verbunden vorfindet, Acetyloxydhydrat genannt. Dieser merkwürdige Körper läßt sich am besten durch Erwärmen von Weingeist mit einem Gemenge von Schwefelsäure und Mangansuperoxyd oder saurem, chromsaurem Kali in einer Retorte darstellen, wobei die letzt-erwähnten Körper die Oxydation des Wasserstoffes veranlassen und der Aldehyd sich in der Vorlage verdichtet. Nach seiner völligen Reinigung stellt er eine farblose Flüssigkeit dar, welche schon bei 22° siedet, einen durchdringenden erstickenden Geruch besitzt, sich mit Wasser und Weingeist leicht mischt und völlig neutral erscheint. An der Luft nimmt Aldehyd sehr rasch Sauerstoff auf und geht dadurch in Essigsäurehydrat über: $C_4H_3O,HO + 2O = C_4H_3O_3,HO$. Acetyl. Aldehyd.

Unter Vermittlung des feinvertheilten Platins findet die Bildung des Aldehyds und der Essigsäure durch den Sauerstoff der Luft leicht und rasch statt. Man setzt zu diesem Behufe, Fig. 293, in eine flache Schale a eine Glasglocke b, dergestalt, daß von unten leicht Luft eindringen kann, während durch den in eine feine Spitze ausgezogenen Trichter i Alkohol auf das in dem Schälchen d befindliche Platinschwarz

tropft. Dieses erglüht bei der Berührung mit dem Weingeist und vermittelt bei beschränkterem Luftzutritt vorzugsweise die Entstehung von Aldehyd, der aber weiter in Essigsäure übergeht. Die Wirkung des Platinmohrs erklärt sich aus der Seite 489 darüber gemachten Mittheilung.

(Fig. 293.)



Essiggährung. Man kann den Weingeist auch durch Berührung mit in Oxydation begriffenen Substanzen disponiren, direkt Sauerstoff aufzunehmen und so in Essigsäure überzugehen, was durch eine Temperatur von etwa 30° sehr befördert wird. Verwesende organische Stoffe eignen sich hiezu besonders gut, und darauf beruht auch die Fabrikation des Essigs, welcher mit Wasser verdünnte Essigsäure ist, und von letzterer 3—6%, daneben aber, falls er aus Bier oder Wein erzeugt wurde, die übrigen Bestandtheile dieser Getränke enthält. Nach dem älteren Verfahren bringt man den auf den nöthigen Grad verdünnten Weingeist mit Essigmutter (eine im Essig sich sehr leicht bildende, mit Essigsäure durchtränkte, eine schlüpferige Masse vorstellende Pilzvegetation) und etwas fertigen Essig, häufig nach Zusatz von Honig und dergleichen, auf Fässer, füllt diese aber nur zu etwa zwei Drittel und stellt sie in geheizte Räume, wo dann die Essigbildung eintritt und nach einigen Wochen beendigt ist. Schnellessig. Bei der sogenannten Schnellessigerzeugung läßt man den verdünnten Weingeist durch mehrere Oeffnungen in große, aufrecht gestellte Fässer, die Essigbildner fließen, worin sich mit Essig durchfeuchtete Buchenholzspäne finden, auf deren Oberfläche sich der Essig gut verbreitet und dem Sauerstoffe der Luft, welche durch mehrere über den Boden angebrachte Oeffnungen einströmt, dergestalt viele Angriffspunkte darbietet, weshalb die Umwandlung des Alkohols in sehr kurzer Zeit vollendet wird. Da in beiden Fällen die Bildung der Essigsäure nur Folge der Berührung mit den in Oxydation begriffenen Zusätzen (Essigmutter, Holzspäne u. dergl.) ist, also auf einer Mittheilung der chemischen Bewegung beruht, so pflegt man diese Art von Essigsäurebildung auch als eine Gährung zu bezeichnen, was sie strenge genommen eigentlich nicht ist, da ihr ein charakteristisches Merkmal der Gährung, das Zerfallen der Verbindung nämlich in mehrere einfachere Stoffe ohne Mitwirkung der Luft, abgeht.

Essigsäure. Die Entstehung der Essigsäure ist jedoch nicht auf die Oxydation des Alkohols beschränkt. Es gibt im Gegentheile wenige Verbindungen, welche unter so mannigfaltigen Verhältnissen hervorgebracht werden können, wie eben die Essigsäure. Man findet sie als Hydrat und in Gestalt von Salzen im Safte mancher Pflanzen. Fast bei jeder durch starkes Erhitzen herbeigeführten gewaltsamen Zersetzung organischer Substanzen tritt Essigsäure auf, so namentlich bei der trockenen Destillation des Holzes, welche man in holzreichen Gegenden nicht selten vornimmt, um neben Theer, Holzgeist und Kohle als ein Hauptprodukt Essigsäure zu gewinnen, die als Holzessig in den Handel gebracht und vorzüglich zu technischen Zwecken verwendet wird.

Um reines Essigsäurehydrat darzustellen, zerlegt man trocknes essigsaures Natron mit Schwefelsäurehydrat, unter Erwärmen in einer Retorte, wobei es in die Vorlage übergeht. Es ist eine scharf sauer schmeckende und riechende farblose Flüssigkeit, welche bei + 16° zu einer krystallinischen Masse erstarrt und ein spec. Gew. von 1,08 hat, während ihr Siedepunkt bei 118° liegt. Mit den Basen liefert sie meist leichtlösliche krystallisirbare Salze.

Eines der wichtigeren ist das neutrale essigsaure Bleioxyd, Bleizucker, welchen man im Großen meist aus Holzessig darstellt. Es ist im Wasser leicht löslich, krystallisirt daraus mit 3 Atomen Wasser und verbindet sich mit Bleioxyd zu mehreren basischen Salzen, die sämmtlich durch Kohlensäure in der beim Bleiweiß erörterten Weise zerlegt werden. Der Grünspan ist ein Gemenge mehrerer basisch essigsaurer Kupferoxydsalze und wird durch Befeuchten von Kupfer mit Essig und Aussetzen an die Luft erhalten.

Chloral. Wir haben schon oben erzählt, daß dem Chlor im hohen Grade die Fähigkeit zukommt, in organischen Substanzen, unter gleichzeitiger Bildung von Salzsäure, den

Wasserstoff ganz oder theilweise zu substituiren. Zur Bildung von derlei chlorhaltigen Substitutionsprodukten sind die Abkömmlinge des Alkohols besonders geeignet, wobei aber in der Regel das Aethyl sich zunächst unter Wasserstoffentziehung in Acetyl umwandelt, welches dann erst weiter durch Chlor verändert wird. So entsteht durch Einwirkung von Chlor auf Alkohol selbst das *Chloral*: C_4Cl_3O,HO, dessen Formel, wie man sieht, der des Aldehyds nachgebildet ist. Es bildet eine durchdringend riechende, farblose Flüssigkeit. Aus Aethyloxyd kann man nach einander die Verbindungen C_4H_4Cl,O — $C_4H_3Cl_2,O$ — $C_4H_2Cl_3,O$ — C_4HCl_4,O — und endlich C_4Cl_5,O erhalten. Chloräthyl liefert C_4H_4Cl,Cl — $C_4H_3Cl_2,Cl$ — $C_4H_2Cl_3,Cl$ — C_4HCl_4,Cl — und schließlich C_4Cl_6, das ist anderthalb Chlorkohlenstoff. Aehnlich verhalten sich auch die meisten zusammengesetzten Aetherarten. In der Essigsäure läßt sich der Wasserstoff des Aethyls ebenfalls vollständig durch Chlor ersetzen und man erhält so die *Chloressigsäure*: $C_4Cl_3O_3,HO$. Es ist gelungen, aus dieser Verbindung wieder das Chlor herauszuholen und den Wasserstoff, unter Rückbildung der gewöhnlichen Essigsäure, wieder an dessen Stelle zu setzen. Leitet man Chlor zu ölbildendem Gase, so bildet sich das Oel desselben, indem beide Körper sich zu einer flüssigen, angenehm riechenden Verbindung vereinigen, welche bei 84° siedet und der Formel: $C_4H_4Cl_2$ entspricht. Dieses Produkt wird aber bei weiterem Zutritt von Chlor ebenfalls in dem bezeichneten Sinne verändert und liefert schließlich gleich dem Chloräthyl anderthalb Chlorkohlenstoff. Oel des ölbildenden Gases.

Wir haben schon früher hervorgehoben, daß den Weingeist eine Reihe anderer Verbindungen in seinem chemischen Charakter nachahmt und zu ganz analogen Zersetzungsprodukten Veranlassung gibt, die wieder unter sich in demselben Zusammenhange stehen wie die des Weingeistes. Die Aehnlichkeit erstreckt sich bei den eigentlichen Alkoholarten so weit, daß die darin vorfindlichen Radikale in ihrer Zusammensetzungsweise sämmtlich einem Typus angehören und sich von einander immer nur durch ein Plus oder Minus, von einer nach der Formel: C_2H_2 zusammengesetzten Atomengruppe, oder deren Multiplum, unterscheiden. Bezeichnet man mit n irgend eine gerade Zahl, so ist C_nH_{n+1} der allgemeine Ausdruck für das Radikal der Alkohole, $C_nH_{n+1}O$ die allgemeine Formel der dem Aethyloxyd entsprechenden Verbindung, $C_nH_{n+1}O,HO$ repräsentirt den Alkohol, $C_nH_{n-1}O,HO$ den Aldehyd, $C_nH_{n-1}O_3,HO$ die Essigsäure und endlich C_nH_n den durch Austritt von Wasser aus dem Alkohol entstandenen Kohlenwasserstoff (beim Weingeist das ölbildende Gas). Körper, die bei völlig übereinstimmender chemischer Constitution sich durch ein Mehr oder Minder der erwähnten Atomengruppe C_2H_2 unterscheiden, nennt man *homologe* Substanzen. Die sämmtlichen Alkoholradikale, die verschiedenen Aetherarten und Alkohole selbst, die der Essigsäure, dem Aldehyd und ölbildenden Gase correspondirenden Verbindungen bilden somit je für sich abgeschlossene homologe Reihen organischer Körper. Wir müssen uns darauf beschränken, einige der wichtigeren Alkohole hier kurz anzuführen. Die Alkohole und ihre Abkömmlinge.

Der *Methylalkohol* entsteht bei der trockenen Destillation des Holzes und kann nur durch ein sehr umständliches Verfahren aus dem Theerwasser rein hergestellt werden. Er ist eine bewegliche, farblose Flüssigkeit von eigenthümlichem Geruch, die bei 65,5° siedet und sich mit Wasser leicht mischt. Die Formel des Methylalkohols ist C_2H_3O,HO. Das Methyloxyd C_2H_3O liefert mit den Säuren ähnliche Verbindungen, wie das Aethyloxyd. Dem Aethylwasserstoff entspricht der Methylwasserstoff: C_2H_3H, welcher nichts anderes, als das schon früher beschriebene Grubengas ist. Dem Acetyl der Aethylreihe correspondirt das *Formyl* C_2H, dessen Sauerstoffverbindung die *Ameisensäure* vorstellt, welche mit Essigsäure viele Aehnlichkeit hat, wie der Name andeutet, in den Ameisen vorkömmt, zudem aber in sehr mannigfaltiger Weise hervorgebracht werden kann. Das Formylchlorid, C_2HCl_3, ist das bei der Narkose vielfältig benützte Chloroform. Holzgeist.

Butylalkohol hat man neben Amylalkohol in dem Fuselöl des Branntweins gefunden. Seine Zusammensetzung entspricht der Formel C_8H_9O,HO und die der Essigsäure correspondirende Säure ist die Buttersäure $C_8H_7O_3,HO$, welche sehr verbreitet ist und sich, wie der Name andeutet, in der Butter, im trockenen Johannisbrod, Sauerkraut u. s. w. findet. Sie mischt sich nicht mehr in allen Verhältnissen mit Wasser und bildet eine ölartige, starksaure, unangenehm riechende Flüssigkeit. Fuselöl.

Der Amylalkohol $C_{10}H_{11}O,HO$ ist der Hauptbestandtheil des Fuselöls. Er erscheint als ölartige unangenehm durchdringend riechende giftige Flüssigkeit. Durch Oxydation erhält man daraus die *Valeriansäure* $C_{10}H_9O_3,HO$, welche sich auch in der Baldrianwurzel findet, gleichfalls sehr unangenehm riecht und sonderbarer Weise mit dem Amyloxyd des Fuselöls eine sehr angenehm riechende Verbindung liefert, welche gleich einigen ähnlich constituirten Substanzen in neuerer Zeit benutzt wird, um gewissen Con-

ditorwaaren einen angenehmen Geruch und Geschmack nach Früchten, wie Birnen, Aepfel, Melonen u. s. w. zu ertheilen.

In dem Maße, als bei den Alkoholen der Kohlenstoffgehalt steigt, vermindert sich die Löslichkeit und Schmelzbarkeit derselben und der dazu gehörigen Säuren, und es erhöht sich der Siedepunkt ziemlich regelmäßig je für C_2H_2 um 19⁰. Die meisten Säuren dieser Reihe finden sich in den Fetten. Uebersteigt der Werth von n in der oben angeführten allgemeinen Formel 20, so finden sich die Säuren bloß in Fetten, und sie sind dann in gewöhnlicher Temperatur als Hydrate starr, erscheinen im Wasser völlig unlöslich, ohne Zersetzung kaum flüchtig, schmelzen bei um so höherer Temperatur, je höher ihr Kohlenstoffgehalt ist, und zeigen, im Vergleich mit den niedriger zusammengesetzten, schwachsaure Eigenschaften. Geschmolzen bilden sie farblose Flüssigkeiten, die beim Erkalten zu blendend weißen krystallinischen Massen erstarren. Aus Weingeist, welcher sie sämmtlich reichlich auflöst, krystallisiren sie in perlmutterglänzenden Blättchen oder Nadeln. Die in den Fetten am häufigsten auftretenden Säuren dieser Reihe sind die Palmitinsäure $C_{32}H_{31}O_3,HO$ und die Stearinsäure $C_{36}H_{35}O_3,HO$.

Fette. Die wichtigsten Eigenschaften der gewöhnlichen Fette sind allgemein bekannt. Wir wissen, daß es im Wasser völlig unlösliche weiche oder ölartige Substanzen sind, die sämmtlich in mäßiger Wärme völlig schmelzen und dagegen in starker Kälte zu farblosen festen Körpern erstarren. Farbe und Geschmack rühren bei den Fetten von fremdartigen Beimengungen her, ebenso größtentheils der Geruch, den nur solche Fette zeigen, welche merkliche Mengen von den niedriger zusammengesetzten Fettsäuren ($n = 8 - 20$) oder bereits Zersetzungsprodukte der Fette enthalten. Reine Fette sind gänzlich neutral. Sie haben eine Constitution, welche sich ganz an die der zusammengesetzten Aetherarten der Alkohole anschließt; nur ist der darin vorfindliche Aether sehr eigenthümlich constituirt. Gleich den übrigen zusammengesetzten Aetherarten müssen die Fette, um den Alkohol daraus abzuscheiden, längere Zeit mit stärkeren Basen erwärmt werden, wobei sich diese der fetten Säuren bemächtigen und der Aether mit Wasser verbunden als

Glycerin. Alkohol austritt. Letzterer bildet das sogenannte Glycerin, Oelsüß, im reinen Zustande eine farblose, syrupartige, geruchlose Flüssigkeit, von süßem Geschmack. Möglichst vom anhängenden Wasser, worin es sich sehr leicht löst, befreit, hat das Glycerin die Formel: $C_6H_5O_3,3HO$. Es ist ein Alkohol, der von den früher besprochenen Alkoholarten sich durch die Fähigkeit unterscheidet, sämmtliche drei Atome Wasser mit wasserfreien Säuren zu vertauschen: etwa wie eine dreibasische Säure, zur Bildung eines neutralen Salzes, drei Atome Sauerstoff in der Base verlangt. Wenn wir uns daher unter A irgend eine wasserfreie Säure vorstellen, so gibt das Glycerin, bei Einwirkung der Hydrate, unter Abscheidung von Wasser, drei Reihen von Salzen: $C_6H_5O_3,A,2HO$ — $C_6H_5O_3,2A,HO$ und $C_6H_5O_3,3A$. Die natürlich vorkommenden gewöhnlichen Fette entsprechen dem letzteren Typus und enthalten sämmtlich drei Atome der wasserfreien Säure, auf ein Atom der Gruppe: $C_6H_5O_3$. Bei Behandlung mit starken Basen treten die Säuren an letztere und das Glycerin wird unter Aufnahme

Verseifung. von 3HO wieder zurückgebildet. Man nennt diesen Vorgang die Verseifung, und das Gemenge der Salze, die in solcher Weise entstehen, Seifen.

Oelsäuren. In den Fetten finden sich aber nicht nur die oben erwähnten Säuren von der allgemeinen Formel: $C_nH_{n-1}O_3,HO$, sondern auch flüssige Säuren, welchen die Fette, je nachdem sie mehr oder weniger vorwiegen, ihre weiche bis ölige Beschaffenheit verdanken. Man nennt diese flüssigen Säuren: Oelsäuren. Die am allgemeinsten verbreitete ist die gewöhnliche Oelsäure: $C_{36}H_{33}O_3,HO$, welche im reinen Zustande eine farb- und geruchlose, ölige, im Wasser unlösliche, sehr schwachsaure Flüssigkeit vorstellt, die bei $+4^0$ zu einer weißen, krystallinischen Masse erstarrt, welche bei $+14^0$ wieder schmilzt Die Oelsäure oxydirt sich an der Luft sehr rasch und gibt dabei zur Bildung von braunen übelriechenden Stoffen Veranlassung, die auch entstehen, wenn die Fette selbst der Einwirkung der Luft durch längere Zeit überlassen bleiben, was man das Ranzigwerden derselben nennt. Durch Oxydation mit Salpetersäure kann man aus der Oelsäure alle flüchtigen Fettsäuren, von Pelargonsäure bis Essigsäure abwärts, erzeugen.

Seifen.

Im gewöhnlichen Leben werden nur jene Verbindungen der fetten Säuren mit Basen Seifen genannt, welche Kali oder Natron enthalten, und die eigentlichen Waschseifen sind ein Gemenge von Natronsalzen der gewöhnlichen flüssigen und festen fetten Säuren. Die Kalisalze derselben sind nämlich im Wasser ungemein leicht löslich, weich und schmierig und daher für den Hauptzweck der Seifen in den meisten Fällen un-

brauchbar. Die Seifen wirken hauptsächlich dadurch, daß sie mit viel Wasser zusammengebracht in freies Alkalihydrat und saure fettsaure Salze zerfallen. Das freie Alkali, welches hier immer nur in beschränkter Menge auftritt und daher durch Uebermaß nicht zu schaden vermag, wie dies bei einer unmittelbaren Anwendung von alkalischen Laugen kaum vermieden werden kann, wirkt auf Fett und andere Substanzen, welche eben durch Waschen mit Wasser beseitigt werden sollen, lösend. Diese Wirkung der Seife wird durch das Abreiben mit derselben mechanisch unterstützt. Alle bisher vorgeschlagene Ersatzmittel für Seifen haben sich vorläufig nicht bewährt.

Früher, wo Holzasche leicht zu beschaffen war und die Preise der Pottasche niedrig standen, wurde allgemein Kali zum Verseifen angewendet und aus der zunächst erzeugten Kaliseife erst nachträglich Natronseife erzeugt. Jetzt, wo uns die künstliche Soda Natron in unbeschränkten Mengen darbietet, führt man die Verseifung allgemein mit Natronlauge durch. Diese wird in der Seite 532 angedeuteten Weise aus kohlensaurem Natron mittelst Kalkhydrat hergestellt. Das Verseifen geschieht in sehr geräumigen kupfernen Kesseln, die mit einem hölzernen hohen Kranz versehen sind, so daß die schäumende Masse während des Siedens Steigraum genug findet. Die Lauge wird zunächst bis zum Sieden erhitzt und allmälig das Fett eingetragen, wobei man beständig umrührt. Anfangs vertheilt sich das Fett in der Lauge zu einer Emulsionartigen Flüssigkeit; diese nimmt nach einiger Zeit eine dickflüssige Consistenz an, indem sich ein Theil des Fetts schon verseift hat und die Bildung des sogenannten Seifenleims beginnt. Nach einiger Dauer der Einwirkung ist der Alkaligehalt der Lauge erschöpft, das Natron an fette Säuren gebunden und eine äquivalente Menge Glycerin abgeschieden. Man muß nun neuerdings Alkali hinzubringen, andererseits aber eine entsprechende Menge von Wasser fortschaffen, um Platz für die neue Lauge zu gewinnen.

Dies wird durch das sogenannte Aussalzen bewerkstelligt. Das Kochsalz hat die merkwürdige Eigenschaft, daß selbst verdünnte wässerige Lösungen desselben keine Seife aufzunehmen vermögen und concentrirte Lösungen den Seifenlösungen selbst das Wasser so weit entziehen, daß sich die Seife im starren Zustande abscheidet. Bringt man daher in Seifenlösung Kochsalz, so kann man je nach der Menge desselben verschiedene, aber immer auf dem eben erwähnten Verhalten beruhende Erscheinungen hervorrufen Beträgt die Menge des Kochsalzes wenig, so trennt sich die siedende Flüssigkeit in zwei gesonderte Schichten, die untere ist eine verdünntere Kochsalzlösung, die obere eine dickflüssige Seifenlösung. Bringt man viel Kochsalz hinzu, so scheidet sich die Seife auf der Oberfläche in Gestalt einer weichen Masse ab. Die untere Flüssigkeit führt den Namen Unterlauge und enthält natürlich die größte Menge des bei der Verseifung entstandenen Glycerins, so wie der die ursprüngliche Lauge verunreinigenden Salze. Hat man die Verseifung mit Kalilauge vorgenommen, so wirkt das Aussalzen noch in anderer Weise; es findet nämlich eine vollständige Zersetzung der Seife statt, indem diese sich in Natronseife umwandelt, während sich Chlorkalium bildet, welches in der Unterlauge bleibt. Dieses Verhalten benutzt man, um eine Seife, deren Herstellung mit Kalilauge begonnen wurde, schließlich doch in Natronseife überzuführen. Aussalzen.

Kehren wir nun nach dieser Erörterung zur Erzeugung der Seife zurück, so wird das Aussalzen, wie erwähnt, zunächst vorgenommen, um eine gewisse Menge von Wasser als Unterlauge aus dem Gefäße wegschaffen und durch Aetzlauge ersetzen zu können. Haben sich die beiden Flüssigkeiten getrennt, so wird die Unterlauge abgeschöpft oder abgelassen, der Seife frische Aetzlauge zugesetzt und das fernere Sieden eingeleitet. Dies wird nach Umständen und nach Art des Betriebes zuweilen auch wiederholt, bis endlich die Verseifung vollendet ist. Sobald dies eingetreten, erscheint die Flüssigkeit zähe, fadenziehend und völlig klar; sie bildet dann den eigentlichen Seifenleim. Man schreitet endlich zum Aussalzen desselben und hat es nach dem oben mitgetheilten in seiner Macht, der sich abscheidenden Seife einen größeren oder geringeren Wassergehalt zu lassen. Hat man viel Kochsalz zugesetzt und war der Seifenleim an sich schon concentrirt, so gerinnt die Seife und liefert dann nach dem Erkalten sogenannte Kernseife. Bei Anwendung von verdünnten Seifenleim und weniger Kochsalz wird der Seifenleim wohl bedeutender verdickt, ohne aber in eine feste Masse überzugehen. In allen Fällen trennt sich die Unterlauge ab und die Seife wird ausgeschöpft. Man bringt sie in Kästen mit durchlöcherten Wänden, die mit Leinwand ausgelegt werden und zerleglich sind; die der Seife noch beigemengte Unterlauge tropft da vollständig ab und während des Erkaltens erstarrt die Seife. War das Material unrein, wie dies namentlich bei Herstellung der ordinären Seife häufig stattfindet, so sind der Seife verschiedene starre Körper beigemischt, wie z. B. Schwefeleisen, Eisenoxyd und dergl.

Diese scheiden sich aus der noch weichen Seife ab, ohne sich bis zum Boden senken zu können, da mittlerweile die Seife fest wird, und bilden die sogenannte Marmorirung der Seife, die man übrigens häufig auch künstlich durch Aufrühren vor dem völligen Erstarren hervorruft. Die Seife kann je nach der Reinheit und Natur des angewendeten Materials, so wie dem bei der Erzeugung eingeschlagenen Verfahren bedeutende Verschiedenheiten darbieten. Die mittelst Oel, besonders im südlichen Frankreich und Italien erzeugte sogenannte Marseillerseife ist weich und liefert bei Behandlung mit Wasser eine schleimige Lösung, während die aus festen Fetten, wie Talg, erzeugte Seife härter ist und bei ihrer Anwendung lebhaft schäumt. Letztere Eigenschaft bietet besonders aus Cocosnußöl hergestellte Seife dar, die vorwiegend als Toilettseife benutzt wird.

Schmierseife. Kaliseifen finden, wie bemerkt, nur für gewisse Zwecke, insbesondere beim Walken von Tuch Anwendung; sie sind, wenn man sie nicht absichtlich ausgetrocknet hat, weich, durchscheinend und gallertartig. Man erzeugt sie aus verschiedenen Arten von Oel, in Rußland namentlich aus Hanföl, sonst auch aus Olivenöl, Fischthran u. dgl., indem man die Verseifung mit Kalilauge vornimmt, bis der Seifenleim völlig klar geworden und eine Probe beim Erkalten die erforderlichen Eigenschaften zeigt. Häufig wird solche Seife absichtlich gefärbt, indem man etwas Blauholzabsud und Eisenoxydulsalz zusetzt, wodurch blauschwarzes gerbsaures Eisenoxyd entsteht, welches sich in der Masse vertheilt. Solche Seife heißt schwarze Seife; mit Hanföl erzeugte Seife ist grün und führt den Namen grüne Seife, während die Consistenz dieser Gattung von Seifen den allgemeinen Namen Schmierseifen verschafft hat. Sie sind nach dem, was wir oben darüber mitgetheilt, ein Gemenge der eigentlichen Seife mit dem Glycerin und allen Verunreinigungen, welche durch die Kalilauge hineingelangt sind, von welchen die Kaliseifen nicht befreit werden können, da das reinigende Aussalzen nicht zur Anwendung kommen darf, weil sich sonst Natronseife bilden würde.

Stearinfabrikation. Die Stearinkerzen werden aus einem Gemenge von verschiedenen festen fetten Säuren geformt, unter denen Palmitinsäure und Stearinsäure vorzuherrschen pflegen. Das Material dazu liefern verschiedene Fette, vorwiegend aber Rinds- und Hammeltalg, so wie Palmöl. Um die fetten Säuren daraus abzuscheiden, kann man zweierlei Wege einschlagen. Der erste, allgemeiner angewendete, besteht in einer vorhergehenden Verseifung, wobei aber statt der kostspieligen Alkalien Kalkhydrat zur Anwendung kommt. Dieses bringt man in Gestalt von Kalkmilch mit dem Fett zusammen und erwärmt bis zum Sieden, was gewöhnlich in mit Blei ausgelegten großen hölzernen Kufen geschieht, in die man Wasserdampf leitet. Nach einigen Stunden ist die Zersetzung des Fettes vollendet und die Kalkseife schwimmt in Gestalt einer weichen zähen Masse auf dem Wasser; sie wird abgenommen, erstarrt beim Erkalten, wird dabei ziemlich spröde und brüchig und läßt sich leicht zerkleinern. Ist letzteres geschehen, so bringt man die Seife neuerdings in die Kufen und erhitzt sie dort mit mäßig verdünnter Schwefelsäure. Die Säure zerlegt die Seife, scheidet die fetten Säuren als Hydrate ab und liefert mit dem Kalk schwer löslichen Gyps (Seite 572). Nach dem Erkalten sind die fetten Säuren zu einer weichen Masse erstarrt, die ihre Consistenz der Anwesenheit von Oelsäuren verdankt. Diese haben während der Verseifung unter Abscheidung von Schwefelsäure sich braun gefärbt und müssen fortgeschafft werden. Dies geschieht durch Pressen, wobei zunächst der größere Theil der Oelsäure abfließt, aber auch eine gewisse Menge der festen fetten Säuren mit sich führt. Der Preßrückstand wird nun umgeschmolzen, durch Gießen in eine passende Form gebracht und dann neuerdings gepreßt, wobei aber die Preßplatten erwärmt sind, so daß die Pressung bei einer Temperatur von etwa 30° erfolgt. Dadurch wird, allerdings unter merklichem Verlust an festen fetten Säuren, welche die Oelsäure zum Theil begleiten, die letztere vollständig weggeschafft und der Preßrückstand ist dann völlig farblos und zur Herstellung der Kerzen geeignet. Das zweite Verfahren beruht auf dem Umstande, daß die Fette sich in Glycerin und Säurehydrate zerlegen, wenn man sie bei 300° der Einwirkung von heißem Wasserdampf aussetzt, wobei sich das Glycerin und die Säuren verflüchtigen. Es wird also mit den Fetten eine Art Destillation vorgenommen; man bedient sich dabei eiserner Cylinder, die mit dem Fett beschickt werden und in größere Gefäße eingesenkt sind, welche schmelzendes Blei enthalten. In das Fett leitet man aus einem Dampfkessel auf 300° erhitzten Wasserdampf, der nicht nur im Vereine mit dem schmelzenden Blei die Destillation vermittelt, sondern auch die Producte durch ein Rohr in die Vorlagen führt, wo sich die fetten Säuren von dem damit condensirten Wasser trennen und über demselben ansammeln. Das Wasser enthält das bei der Umsetzung entstandene Glycerin und dieses kann durch Verdampfen daraus gewonnen werden. Man verwendet es in neuerer Zeit

mit Vortheil als Versüßungsmittel. Die Behandlung der nach diesem Verfahren gewonnenen fetten Säuren stimmt mit jener ganz überein, welche wir oben angedeutet haben.

Das Glycerin steht mit mehreren anderen Substanzen in einem sehr interessanten Zusammenhange. Eine Lösung desselben liefert auf Zusatz von Hefe, nach längerem Verweilen an einem warmen Orte, Propionsäure: $C_6H_8O_6 - 2HO = C_6H_5O_3, HO$. Das in letzterer enthaltene Radikal: C_6H_5, Allyl, Propylen, kann man, mit Jod verbunden, durch Behandlung von Glycerin mit Jodphosphor erhalten. Es bildet eine lauchartig riechende, farblose Flüssigkeit. Wird diese mit Rhodankalium erwärmt, so findet Doppelzersetzung statt und das Allyl verflüchtigt sich als Rhodanverbindung, während Jodkalium zurückbleibt: $K, C_2NS_2 + C_6H_5J = C_6H_5, C_2NS_2 + KJ$. Im Rhodanallyl erkennen wir leicht das Senföl, dessen Gegenwart im mit Wasser durchfeuchteten gepulverten Senfsamen und dem Meerrettig sich durch den bekannten durchdringenden Geruch kund gibt. Das Senföl, welches sich mittelst Destillation des im Wasser angerührten, schwarzen Senfsamens reichlich gewinnen läßt, ist im letzteren nicht ursprünglich vorhanden, sondern entsteht erst, wie das Bittermandelöl aus Amygdalin (s. S. 591), unter Vermittelung eines im Wasser löslichen Fermentes, welches im weißen und schwarzen Senf sich vorfindet, aus der im letzteren vorhandenen Myronsäure. Es ist ein farbloses Oel, von dem bekannten scharfen Geruch, schwerer als Wasser und zieht auf der Haut Blasen. Der penetrante Geruch des Knoblauchs rührt von einem flüchtigen Oele her, welches die Schwefelverbindung des Allyls C_6H_5S ist. Durch Erwärmen des Senföls mit Schwefelkalium läßt sich das Knoblauchöl künstlich erhalten. Allyl.

Wir haben im Glycerin einen Alkohol kennen gelernt, dessen Constitution von den gewöhnlichen Alkoholarten wesentlich abweicht. Es gibt aber noch viele Verbindungen, die sich den obigen Alkoholen viel vollständiger anschließen, nur sind die darin vorfindlichen Radikale nach einem anderen Typus zusammengesetzt, haben sonst aber dieselbe Bedeutung, wie die von der allgemeinen Formel: $CnHn + _1$. Von diesen Alkoholen mag hier der Benzylalkohol, als einer der interessanteren, Erwähnung finden. Er ist erst seit Kurzem bekannt und wurde durch Einwirkung einer weingeistigen Kalilösung auf Bittermandelöl erhalten, welches letztere im reinen Zustande den Aldehyd des Benzylalkohols vorstellt. Letzterer hat die Formel: $C_{14}H_7O, HO$ und ist eine flüchtige, ölartige Flüssigkeit. Das Bittermandelöl entspricht in seiner Zusammensetzung der Formel: $C_{14}H_6O_2$. Man gewinnt es durch Destillation der mit Wasser zu einem Brei zerstampften bitteren Mandeln, wo es gemeinschaftlich mit Blausäure übergeht, die eine wiederholte Destillation über Kalkhydrat fortschafft. Das reine Bittermandelöl hat einen sehr angenehmen Geruch, ist schwerer als Wasser, farblos und löst sich leicht in Weingeist. Man verwendet es häufig bei der Herstellung von Parfümeriewaaren. An der Luft, sowie beim Erwärmen mit Salpetersäure und anderen oxydirenden Körpern, nimmt es Sauerstoff auf und verwandelt sich in Benzoësäurehydrat: $C_{14}H_5O_3, HO$. Die Benzoësäure trifft man natürlich gebildet in mehreren Harzen, namentlich der wohlriechenden Benzoë, aus welcher sie auch gewöhnlich durch Sublimation gewonnen wird. Sie bildet farb- und geruchlose, nadelförmige Krystalle, welche sich in kaltem Wasser wenig, in heißem ziemlich reichlich lösen, bei 120° schmelzen und bei 250° verflüchtigen. Mit den Basen liefert sie meist lösliche und krystallisirbare Salze. Leitet man die Dämpfe von Benzoësäurehydrat über erhitztes Kalihydrat, so zerfällt es in Kohlensäure und einen Kohlenwasserstoff von der Formel: $C_{12}H_6$, das Benzin, Benzol. Die Kohlensäure bleibt bei diesem Vorgange an Kalk gebunden zurück und das Benzin entweicht als Dampf. Es riecht dem Bittermandelöl sehr ähnlich, siedet bei 80°, wird auch bei der trockenen Destillation der Steinkohlen reichlich gebildet und aus deren Theer gewonnen, um als Lösungsmittel für Kautschuk 2c., sowie als Leuchtmaterial zu dienen. Benzylalkohol. Bittermandelöl. Benzoësäure. Benzin.

Hinsichtlich der äußeren Eigenschaften zeigt mit Benzoësäure die Bernsteinsäure viele Aehnlichkeit, obwohl ihre Zusammensetzung ganz verschieden ist. Wie der Name andeutet, findet sie sich im Bernstein und kann durch Destillation desselben, nach Behandlung des Produkts mit Thierkohle, rein gewonnen werden. Auch in anderen Harzen (Terpentin) hat man Bernsteinsäure angetroffen, ebenso in manchen Pflanzen (Lattich, Wermuth), endlich entsteht sie reichlich bei Behandlung der Fette mit concentrirter Salpetersäure, sowie durch eine eigenthümliche Gährung, wobei faulender Käsestoff als Ferment wirkt, aus anderen organischen Säuren, z. B. Aepfelsäure nnd Aconitsäure. Die Bernsteinsäure krystallisirt aus Wasser, in farb- und geruchlosen Prismen, die bei 180° schmelzen und sich bei 225°, unter gleichzeitiger Abgabe der Hälfte des Hydratwassers verflüchtigen. Das Hydrat entspricht der Formel: $C_8H_4O_6$, 2HO. Die Säure ist zweibasisch und liefert zumeist leicht lösliche Salze. Bernsteinsäure.

Unter den zahlreichen Säuren, welche in den Pflanzen entstehen, sind einige deßhalb von besonderem Interesse, weil sie sehr verbreitet vorkommen und den sauren Geschmack der meisten Pflanzensäfte bedingen. Sie finden sich darin theils als Hydrat, theils in Gestalt von sauren Alkali- und Kalksalzen, sind krystallisirbar, nicht flüchtig und sämmtlich mehrbasisch. Bei der trockenen Destillation liefern sie neue krystallisirbare Säuren. Um sie darzustellen, pflegt man den sie hauptsächlich enthaltenden Pflanzensaft aufzukochen, von dem coagulirten Albumin abzufiltriren und dann mit Kreide oder Kalkhydrat zu behandeln, wobei sich ein schwer lösliches Kalksalz bildet, welches man mit der nöthigen Menge Schwefelsäure erwärmt, die unter gleichzeitiger Bildung von Gyps das Säurehydrat abscheidet, dessen Lösung dann durch Abdampfen zum Krystallisiren gebracht wird. Eine der wichtigsten Säuren dieser Gruppe ist die Weinsteinsäure, Weinsäure: $C_8H_4O_{10},2HO$. Sie findet sich im Safte der Trauben und somit im Weine als Hydrat und saures Kali- sowie Kalksalz und wird aus dem Kalisalze (Weinstein) dargestellt. Sie bildet farblose prismatische Krystalle, von sehr saurem Geschmack, die sich im Wasser leicht lösen, und ist zweibasisch. Das saure Kalisalz krystallisirt aus dem Wein bei der Gährung und längerem Aufbewahren. Es ist im Wasser schwer löslich und liefert bei Erwärmung der Lösung mit Antimonoxyd ein krystallisirbares Doppelsalz von der Formel: $SbO_3,KO,C_8H_4O_{10} + HO$, welches als Brechweinstein in der Heilkunst vielseitig verwendet wird. In einigen südlichen Weinen findet sich neben der Weinsteinsäure auch Traubensäure, welche bei völlig gleicher Zusammensetzung ihrer Salze sich durch ihre Eigenschaften von ersterer wesentlich unterscheidet. Die Aepfelsäure herrscht in dem Safte der Aepfel vor und findet sich auch in den Trauben, besonders vor der völligen Reife derselben. Sie krystallisirt aus Wasser schwierig in farblosen, blumenkohlartig angeordneten Blättchen, ist zweibasisch, hat die Formel $C_8H_4O_8,2HO$ und liefert eine große Reihe von meist schwer löslichen Salzen. Die Citronensäure, in der Pflanzenwelt sehr verbreitet, bildet den sauren Bestandtheil des Citronensaftes Sie ist dreibasisch, ihr Hydrat entspricht der Formel: $C_{12}H_5O_{11},3HO$, welches bei gewöhnlicher Temperatur aus der wässrigen Lösung sich mit zwei Atomen Krystallisationswasser abscheidet. Beim Erhitzen der Citronensäure gibt sie zunächst zwei Atome Wasser ab und verwandelt sich in die gleichfalls dreibasische Aconitsäure: $C_{12}H_3O_9\,3HO$. Diese auch Equisetsäure genannt, wird in den meisten Species von Aconitum und Equisetum angetroffen und krystallisirt in kleinen farblosen Blättchen, von stark saurem Geschmack. Obwohl ihrem Charakter nach nicht zu den oben besprochenen Säuren gehörig, mag hier dennoch die Milchsäure eine Stelle finden, die zwar auch in Pflanzen angetroffen, hauptsächlich aber durch eine eigenthümliche Gährung aus Zucker gebildet wird. Der Käsestoff der Milch bedingt, sobald diese an die Luft gelangt, namentlich in mäßiger Wärme, sehr rasch eine Umwandlung des Milchzuckers in Milchsäure, was die Ursache des Sauerwerdens der Milch ist und auch bald das Gerinnen des Käsestoffs veranlaßt. In gegohrenen Flüssigkeiten trifft man überhaupt allgemein etwas Milchsäure an, die auch im Weine vorzukommen pflegt. Die Säure hat dieselbe prozentische Zusammensetzung wie Milchzucker und Traubenzucker, ist zweibasisch, entspricht der Formel: $C_{12}H_{10}O_{10},2HO$, krystallisirt nicht und kann als Hydrat nur in Gestalt einer farb- und geruchlosen, syrupartigen, stark sauren Flüssigkeit erhalten werden.

Weinsteinsäure. *Aepfelsäure.* *Citronensäure.* *Milchsäure.*

Ammoniakbasen.

Wir haben in der vorhergehenden Besprechung der Alkohole zahlreiche Radikale kennen gelernt, die namentlich die Fähigkeit besitzen, in verschiedenen Verbindungen den Wasserstoff zu ersetzen und so Körper hervorzubringen, die bei veränderter Zusammensetzung dennoch den ursprünglichen Charakter der Stammverbindung unverrückt beibehalten. Unter den Verbindungen, deren Wasserstoff in solcher Weise substituirt werden kann, ist das Ammoniak weitaus die wichtigste. Es gibt durch die erwähnte Substitution zur Bildung einer großen Reihe von neuen Stoffen Veranlassung, unter welchen alle jene, wo die theilweise oder völlige Substitution des Wasserstoffs durch Alkoholradikale bewerkstelligt wurde, den chemischen Charakter des Ammoniaks vollständig beibehalten haben und somit bei Berührung mit Säuren Ammoniumsalze liefern, die wieder in ihren Eigenschaften den ursprünglichen parallel gehen, obwohl auch hier die Alkoholradikale an die Stelle des Wasserstoffs getreten sind. Diese vielseitigen Modifikationen des Ammoniaks sind an sich ebensowenig Basen wie letzteres selbst, sondern werden erst durch Aufnahme von Wasser oder einer dem Wasser analog constituirten Sauerstoffverbindung eines Alkoholradikals befähigt, Sauerstoffsalze zu bilden. Man nennt sie aber nichts destoweniger Ammoniakbasen und unterscheidet jene, wo bloß ein Atom Wasserstoff substituirt ist, als Amidbasen von solchen, wo zwei Atome Wasserstoff ersetzt wurden, die Imidbasen heißen und von den Nitrilbasen, in welchen aller

Wasserstoff durch andere Radikale vertreten ist. Die Entstehung dieser merkwürdigen Basen findet in mannigfaltiger Weise statt. Am einfachsten kann man sie durch Einwirkung von Jod- oder Bromverbindungen der Radikale auf Ammoniak erzeugen. So entsteht beim Erwärmen des Letzteren mit Bromäthyl zunächst bromwasserstoffsaures Aethylamin: $NH_3 + C_4H_5Br = NH_2C_4H_5,HBr$. Bei Behandlung dieser Verbindung mit Kalk verhält sie sich wie Salmiak, d. h. es scheidet sich Ammoniak ab, welches dann aber eben schon ein Atom Wasserstoff durch Aethyl ersetzt enthält. Es ist eine farblose, sehr flüchtige Flüssigkeit, die nach Ammoniak riecht. Wenn wir sie nun neuerdings mit Bromäthyl erwärmen, so findet genau derselbe Vorgang wie früher statt. Das Aethyl tritt wieder in die Ammoniakgruppe ein und wir erhalten bromwasserstoffsaures Diäthylamin: NH,C_4H_5,C_4H_5,HBr, aus welchem durch Kalk wieder die Base, welche dem Aethylamin ähnlich ist, sich abscheiden läßt. Das Diäthylamin, der gleichen Behandlung mit Bromäthyl unterworfen, liefert weiter Triäthylamin: N,C_4H_5,C_4H_5,C_4H_5, welches sich beim Erwärmen mit Jodäthyl mit letzterem unmittelbar verbindet, gleichwie etwa Jodwasserstoff mit Ammoniak. Wir erhalten so eine völlig dem Jodammonium correspondirende Verbindung: $N(C_4H_5)_4,J$, das Jodteträthylammonium. Das substituirte Ammonium ist viel beständiger als die Stammverbindung. Bei Behandlung mit Silberoxyd entsteht durch Doppelzersetzung Jodsilber und das Oxyd des Teträthylammoniums, welches im Wasser löslich, ungemein ätzend, kurz eine sehr kräftige Basis ist, deren Beschaffenheit stark an Kalihydrat erinnert. Denken wir uns nun, wir hätten das obige Verfahren zur Herstellung des Teträthylammoniums in der Weise abgeändert, daß abwechselnd vier verschiedene Bromverbindungen von Alkoholradikalen angewendet worden wären, so finden dieselben Substituirungen statt, nur ist in dem Producte jedes Atom Wasserstoff des Ammoniums durch ein anderes Alkoholradikal ersetzt. So läßt sich z. B. ein Ammoniumoxyd von folgender Formel herstellen: $N,C_2H_3,C_4H_5,C_6H_7.C_{10}H_{11},O$, worin also Methyl, Aethyl, Propyl und Amyl vorkommen. Da nun viele Alkoholradikale und ähnliche Körper bekannt sind, welche sich sämmtlich zu solchen Substituirungen herleihen, so kann sich der Leser vorstellen, welche große Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung bei Combination der verschiedenen Radikale erzielt worden ist, ohne daß der Grundcharacter aller dieser Verbindungen eine Verschiedenheit darbieten würde.

Metamerie.

Wir müssen hier auf ein Verhältniß aufmerksam machen, welches bei manchen Reihen organischer Verbindungen zum Vorschein kommt, nirgends aber in solcher Ausdehnung, wie bei den eben besprochenen Ammoniakbasen. Man trifft nämlich Verbindungen von ganz gleicher Zusammensetzung, aber wesentlich verschiedenen Eigenschaften. Letzterer Umstand findet häufig seine Erklärung darin, daß wohl dieselbe Art und Anzahl von Atomen in diesen verschiedenen Verbindungen vorhanden, jene aber in jeder derselben anders angeordnet, gruppirt sind, welches Verhältniß man Metamerie nennt. So haben z. B. drei Ammoniakbasen dieselbe empirische Formel: C_6H_9N; die eine, das Trimethylamin, enthält aber N,C_2H_3,C_2H_3,C_2H_3. Die zweite, das Propylamin, hat die rationelle Formel: N,H_2,C_6H_7, und endlich ist das Methyläthylamin: N,H,C_2H_3,C_4H_5. Nach der Formel $C_{10}H_{13}N$ sind fünf verschiedene Ammoniakbasen zusammengesetzt, nämlich: Amylamin: $N,H_2,C_{10}H_{11}$; Propyläthylamin: N,H,C_6H_7,C_4H_5; Dimethylpropylamin: N,C_2H_3,C_2H_3,C_6H_7; Diäthylmethylamin: N,C_4H_5,C_4H_5,C_2H_3; und Butylmethylamin: N,H,C_8H_9,C_2H_3. Um noch einige Beispiele metamerer Substanzen aus einer anderen Reihe von Verbindungen anzuführen, so ist Propionsäurehydrat: $C_6H_5O_3,HO$, metamer mit ameisensaurem Aethyloxyd: C_4H_5O,C_2HO_3, und mit essigsaurem Methyloxyd: $C_2H_3O,C_4H_3O_3$.

Sauerstoffhaltige Alkaloide.

Auch in der Natur finden sich einige Basen, welche nach ihrem Aussehen und ihrer Zusammensetzungsweise in die Reihe der Ammoniakbasen gehören, wie das Nicotin, welches man in der Tabakpflanze antrifft, das Coniin aus dem Schierling und andere. Außer diesen aber treten als Producte des Pflanzen- und in geringer Anzahl auch des Thierlebens, sauerstoffhaltige, meist krystallisirbare, mit basischen Eigenschaften ausgestattete Verbindungen auf, welche man Alkaloide nennt. Viele derselben sind sehr giftig und überhaupt die Träger der hervorragendsten chemischen Eigenschaften jener Pflanzen, in welchen sie vorkommen. Eine große Anzahl derselben liefert krystallisirbare Doppelsalze. Manche dieser Alkaloide haben wegen ihrer mächtigen Wirkung auf den Organismus sehr viele Wichtigkeit. So ist der allgemeine Genuß von Kaffee und Thee der Anwesenheit des Caffeïns in den genannten Producten zuzuschreiben, welches Alkaloid nach der Formel $N_4C_{16}H_{10}O_4$ zusammengesetzt ist und in weißen seidenglänzenden Nadeln krystallisirt. Im Opium finden sich mehrere Alkaloide. Unter diesen ragt das Morphin, als einer der wirksamsten Bestandtheile des Opiums, hervor,

wie sich in der Königschinarinde das fieberwidrige **Chinin**: $C_{40}H_{24}N_2O_4$, in der Tollkirsche das höchst giftige **Atropin**: $C_{34}H_{23}NO_6$ vorfindet. In dem thierischen Organismus tritt als Alkaloid der Harnstoff auf, ferner das **Kreatin**: $C_8H_9N_3O_4$, und das **Kreatinin**: $C_8H_7N_3O_2$; letztere nur spärlich, hauptsächlich in dem Safte des Muskelfleisches.

Amide. Eine große Reihe eigenthümlicher Zersetzungsproducte liefern Ammoniaksalze organischer Säuren, wenn man selbe passend erwärmt, wobei Wasser austritt, welches seine Bildung einer theilweisen Reduction der Säure durch den Wasserstoff des Ammoniaks verdankt, während der Rest der Säure, ein niedrigeres Oxyd des darin vorfindlichen Radikals, an die Stelle des Wasserstoffs im Ammoniak tritt. Körper, wo in solcher Weise ein Atom Wasserstoff durch den erwähnten Säurerest ersetzt wird, nennt man **Amide**. Solche bringen meistens die einbasischen Säuren hervor, indem deren Ammoniaksalz zwei Atome Wasser abgiebt. So entsteht z. B. aus Essigsäure das **Acetamid**: $C_4H_3O_2, H_2N = NH_4O, C_4H_3O_3 - 2HO$, eine farblose krystallisirbare Substanz.

Imide. Zur Bildung der Amide geben meistens die einbasischen Säuren Veranlassung, während die zweibasischen, wenn ihre sauren Ammoniaksalze erwärmt werden, unter Abgabe von vier Atomen Wasser, Verbindungen hervorbringen, die Ammoniak vorstellen, wo zwei Aeq. Wasserstoff durch den aus der Reduction der Säure hervorgegangenen Rest substituirt sind. Derlei Producte werden **Imide** genannt. Ein solches ist das durch Erhitzen von saurem bernsteinsauren Ammoniumoxyd hervorgebrachte **Succinimid**; $C_8H_4O_4,HN = NH_4O, C_8H_4O_6, HO - 4HO$. Es ist ein weißer krystallinischer, im Wasser löslicher Körper. Die Imide nehmen beim Erwärmen mit verdünnten Alkalien oder Ammoniak wieder zwei Atome Wasser auf und bilden so Säuren, welche sich sogleich mit der angewendeten Base verbinden. Aminsäuren. In diesen Säuren, die man als **Aminsäuren** bezeichnet, ist die Hälfte des basischen Wassers der Säure, aus welchem das Imid entstand, mit seinem ursprünglichen chemischen Charakter vorhanden, d. h. durch Metalloxyde ersetzbar, während die wasserfreie Säure bloß um ein Atom Sauerstoff vermindert ist und dieser Rest ein Atom Wasserstoff im Ammoniak ersetzt. So bildet sich aus dem oben erwähnten Succinimid die **Succinaminsäure**: $NH_2, C_8H_4O_5, HO$.

Färberei und Zeugdruckerei.

Die Kunst zu Färben oder auf den Stoffen bunte Figuren hervorzubringen, ist gegenwärtig sehr weit vorgeschritten, ohne daß die dabei stattfindenden chemischen Vorgänge in allen ihren Einzelnheiten gekannt und erörtert wären. Die sogenannten Farbstoffe stammen meistens von Pflanzen her und man bezeichnet mit diesem Ausdrucke nicht nur solche Substanzen, die an sich eine deutliche Farbe zeigen, sondern, und zwar vorzugsweise solche Verbindungen, welche sich dazu eignen, bei passender Behandlung andere ungefärbte Körper zu färben. So wichtig die letztere Gattung von Farbstoffen für die Industrie ist und so vielfältige Untersuchungen man über die vorzüglichsten derselben schon angestellt hat, so wenig ist es bisher gelungen, die Constitution derselben mit jener Deutlichkeit, wie etwa bei den Alkoholen zu ermitteln und namentlich die Einzelnheiten jener Vorgänge zu erklären, welche erfahrungsmäßig bei Anwendung der Farbstoffe in der Färberei und Zeugdruckerei zum Ziele führen. Die Schwierigkeit hier in's Klare zu kommen ist um so größer, als man in den gewöhnlichen und wichtigsten Farbmaterialien gleichzeitig mehrere Substanzen antrifft, die bei dem Gebrauche der ersteren so ziemlich gemeinschaftlich zusammenwirken dürften, ohne daß man in's Klare kommen konnte, welche Rolle den einzelnen dieser Körper zukommt. Man hat z. B. im Krapp (der Wurzel der Färberröthe, welche ein besonders wichtiges Farbmaterial vorstellt) mehrere krystallisirbare, zum Theil auch gefärbte Stoffe aufgefunden, aber ihre wechselseitigen Beziehungen beim Färben mit Krapp und die Veränderungen, welche sie dann erleiden, noch nicht ausgemittelt.

Beitzen. Im Allgemeinen lassen sich die betreffenden Farbstoffe nicht unmittelbar auf den zu färbenden Materialien befestigen. Als solche verdienen hervorgehoben zu werden: Fäden oder Stoffe aus Leinenfasern, Baumwolle, Seide und Schafwolle. Diese verschiedenen Fasern sind für die Aufnahme der Farbstoffe auch verschieden empfänglich. Am leichtesten nimmt Schafwolle Farbstoffe auf, dann folgt Seide, Baumwolle und endlich Leinenfaser, welche sich am schwierigsten färben läßt. Doch selbst bei der Schafwolle gelingt es nur in wenigen Fällen, die Farbe unmittelbar zu befestigen, meistens, und bei den Pflanzenfasern ohne Ausnahme, muß dem eigentlichen Färben das sogenannte Beitzen der Stoffe vorangehen. Es besteht in einem Durchtränken mit passenden Salzlösungen. Diese sind bei Baumwollen- und Leinenstoffen vorwiegend essigsaure Thonerde, essigsaures Eisenoxyd, derlei Oxydul, Zinnsalz, zinnsaures Natron u. dgl. Diese

Salze verwandeln sich auf der Faser zum Theil in basische Verbindungen, die fest haften, und wenn sie hierauf mit einer Lösung des Farbstoffes in Berührung kommen, diesen zu einer Art Salz binden, so unlöslich machen und gleichzeitig befestigen. Je nach der Natur des Beizmittels und der angewendeten Menge entstehen dann aber bei Anwendung des Farbstoffes verschiedene Farbentöne, woraus sich erklärt, daß der Färber mit einer verhältnißmäßig geringen Anzahl von Farbmaterialien eine so große Mannigfaltigkeit der Farben erzielen kann. Dabei kommt ihm auch die Combination verschiedener Farben zu Hülfe, die er gleichzeitig hervorzurufen und so eine unabsehbare Reihe von Nuancen zu erzeugen vermag. Bei Schafwolle benutzt man als Beize hauptsächlich Weinsteinsäure, Lösungen von Zinnchlorid, Zinnchlorür u. dgl. Manche schöne, nicht ächte, das heißt leicht veränderliche Farben lassen sich auf Seide ohne Anwendung von Beizen befestigen, bei anderen nimmt man essigsaure Thonerde u. dgl. Doch müssen bei Seide, wie bei Schafwolle, alkalische Beizen sorgfältig vermieden werden, da Alkalien sowohl Seide wie Schafwolle auflösen und somit zerstören. Das Tränken der Stoffe mit den Beizen wird meistentheils durch Maschinen besorgt. Demselben geht übrigens ein sorgfältiges Waschen voraus, während man nach erfolgtem Auftragen der Beize die Stoffe in beheizten Räumen aufzuhängen pflegt, um sie auszutrocknen und dabei das Beizmittel besser zu befestigen.

Das Ausfärben wird in der Regel so vorgenommen, daß man den Farbstoff mit Wasser zum Sieden erhitzt, und dergestalt eine wässerige Lösung der im Material vorhandenen wirksamen Bestandtheile herstellt. Diese heißt Farbebrühe, Farbeflotte. Die gehörig vorbereiteten Stoffe werden in die noch warme, in manchen Fällen auch in die noch siedende Brühe eingesenkt, wobei sie sich färben, indem die Farbstoffe darauf niedergeschlagen werden. Nach Umständen folgt dann häufig eine nachträgliche Operation, das sogenannte Schönen, Aviviren, welches den Zweck hat, die Farben heller und glänzender zu machen. Es geschieht dies je nach der Farbe in verschiedener Weise, meistens aber durch Kochen in Seifenlösung oder verdünnten Lösungen von Zinnchlorid. Es würde viel zu weit führen, all die Methoden mitzutheilen, welche in der Färberei zur Anwendung kommen; einige Beispiele mögen genügen. Ausfärben.

Die Anwendung des Krapps beim Färben von Baumwollstoffen ist eine sehr mannigfaltige; werden diese mit mäßig verdünnter essigsaurer Thonerde gebeizt und dann in einer Krappbrühe ausgefärbt, so erhält man ein schönes Roth; verdünntere Beizen liefern Rosenroth; wird mit holzessig-saurem Eisenoxydul gebeizt, so liefert Krapp eine violette Farbe, während eine aus essigsaurer Thonerde und essigsaurem Eisenoxydul bestehende Beize mit Krapp eine braune Farbe hervorbringt. Für Gelb gibt es eine Menge Farbstoffe, wie Gelbholz, Wau, Quercitron, Gelbbeeren u. s. w. Man befestigt die darin enthaltenen Stoffe mit Thonerdebeizen. Diesen und ähnlichen Farbmaterialien organischen Ursprungs gesellen sich auch unorganische Farbstoffe bei. So kann man z. B. gelb färben, indem man den Stoff zunächst mit einem Bleioxydsalz tränkt und hierauf mit einer Lösung von chromsaurem Kali behandelt; es bildet sich dann durch Doppelzersetzung chromsaures Bleioxyd, ein unlöslicher gelber Körper (Seite 563), welcher im Moment seiner Entstehung sich zugleich auf der Faser befestigt. Wird ein Stoff mit einem Manganoxydulsalz getränkt und hierauf mit verdünnter Natronlauge behandelt, so scheidet sich zunächst Manganoxydulhydrat ab, welches haften bleibt und, der Luft ausgesetzt, allmälig in Manganoxydhydrat übergeht, wobei eine sehr haltbare schöne braune Farbe zum Vorschein kömmt. Die meisten Farben jedoch werden, wie erwähnt, durch Combination erzeugt, so färbt man grün, indem man Blau und Gelb zugleich anwendet; Gelb und Roth liefern verschiedene Abstufungen von Orange, Roth und Blau, Violett u. s. w.

Blau läßt sich echt bloß mit Indigo herstellen. Dies ist der einzige Farbstoff, dessen Anwendung uns klar ist. Man gewinnt ihn in mehreren heißen Ländern aus verschiedenen Pflanzen, namentlich Nerium und Indigoferen, indem die Blätter derselben zerstampft und mit Wasser kurze Zeit in Berührung gebracht, bald eine eigenthümliche Gährung erleiden, in Folge deren aus einem uns wenig bekannten Bestandtheil der Pflanze ein in Wasser löslicher farbloser Körper sich bildet, der bei Zutritt der Luft, Sauerstoff aufnehmend, in Indigblau übergeht, welches gemeinschaftlich mit anderen verunreinigenden Stoffen sich, sehr fein vertheilt, aus der Flüssigkeit abscheidet und nach dem Trocknen den Indig des Handels vorstellt. Der wirksame Bestandtheil des Letzteren ist das eben erwähnte Indigblau, dessen Zusammensetzung der Formel: $C_{16}H_5NO_2$ entspricht. Das Indigblau ist geruch- und geschmacklos, im Wasser, Weingeist, Aether, verdünnten Säuren und Alkalien unlöslich, ganz indifferent, tief blau und flüchtig. Sein Dampf ist purpurroth. Wird es bei gleichzeitiger Gegenwart einer Indigo.

löslichen stärkeren Base, wie Kalk, Kali, unter Abschluß der Luft mit reducirenden Körpern, wie Eisenoxydul, Zinnoxydul, gewissen in Gährung begriffenen Pflanzenstoffen (Färberwaid) zusammengebracht, so verwandelt sich das Indigblau in Indigweiß, welches, an sich wohl auch im Wasser unlöslich, sich dagegen mit den genannten Basen zu löslichen Verbindungen vereinigt, aus denen es Säuren in Gestalt eines weißen krystallinischen Körpers abscheiden, der an der Luft ungemein rasch wieder in Indigblau übergeht, was auch bei den Verbindungen des Indigweiß mit Basen eintritt, während letztere frei werden. Das Indigweiß hat die Formel: $C_{16}H_6NO_2$ und unterscheidet sich daher von dem Indigblau durch den Mehrgehalt von 1 Atom Wasserstoff. Man kann annehmen, daß bei seiner Entstehung durch die erwähnten reducirenden Körper dem Indigblau 1 Atom Sauerstoff entzogen worden und die so hervorgebrachte Verbindung mit 1 Atom Wasser in Verbindung gegangen ist oder daß gerade nur Wasser zerlegt wurde und der Wasserstoff an das Indigblau getreten ist. Welche dieser beiden Deutungen die richtige ist, vermögen wir vorläufig nicht zu entscheiden.

Indigküpen. Auf diesem wichtigen Verhalten beruht die Benutzung zum Färben. Da das Indigblau im Wasser unlöslich ist, so bereitet man immer zunächst alkalische Lösungen von Indigweiß. Mit diesen werden durch Einsenken die zu färbenden Stoffe getränkt, wonach man sie an die Luft bringt. Der Sauerstoff derselben verwandelt das Indigweiß in Indigblau, dieses bleibt an den Fasern haften und färbt selbe zugleich. Eine auf passende Weise hergestellte Lösung von Indigweiß heißt Küpe. Am meisten gebraucht man die sogenannte Waidküpe. Um diese herzustellen, wird fein gemalener Indigo mit gelöschtem Kalk, etwas Pottasche, Waidblättern, Krapp und Kleie in einem großen Gefäße mit warmem Wasser angerührt und unter zeitweiligem Umrühren bedeckt stehen gelassen. Es tritt alsbald eine eigenthümliche nicht näher gekannte Gährung ein, welche veranlaßt, daß das Indigblau in Indigweiß übergeht und sich mit dem vorhandenen Kalk und mit dem bei der Gährung entstehenden Ammoniak zu löslichen Verbindungen vereinigt. Ist dieses geschehen, so kann man durch Einsenken, Herausheben und Lüften der Stoffe diese färben, und wenn man dies ein oder mehreremale wiederholt, auch ein sehr dunkeles Blau hervorbringen. Setzt man der Küpe von Zeit zu Zeit Indigo und die übrigen Bestandtheile wieder zu, und sorgt dafür, daß die erwähnte Gährung im richtigen Gange erhalten bleibt, so kann eine solche Küpe, durch lange Zeit ohne namhafte Unterbrechung zum Färben dienen. Auch Pottasche oder Natronlauge, mit Eisenvitriol oder Zinnchlorür versetzt, können zur Herstellung von Küpen dienen; in diesem Falle wirken Eisenoxydul und Zinnoxydul reducirend, während das Indigweiß an Kali oder Natron tritt.

Chlorophyll. Unter allen Farbstoffen ist wohl das Grün der Pflanzen (Chlorophyll) der verbreitetste. Man hat ihn auch in manchen niederen Thieren gefunden, konnte aber bis jetzt über seine Zusammensetzung und Constitution nichts Verläßliches ausmitteln, und es ist sogar zweifelhaft, ob die grüne Farbe der Blätter u. s. w. einem einzigen Farbstoffe ihren Ursprung verdanke, oder ob mehrere Arten von Pflanzengrün existiren.

Zeugdruckerei. Die Zeugdruckerei ist die Kunst, auf den verschiedenen Stoffen gefärbte Figuren zu erzeugen und selbe haltbar zu befestigen. Wie dies schon der Name dieser Kunst andeutet, beruht das Wesen derselben darin, daß man die verschiedenen Substanzen, welche hier dienen, auf die Zeuge aufdruckt. Dieses Drucken kann in verschiedener Weise bewerkstelligt werden, gelingt aber nur dann, wenn die aufzudruckenden Flüssigkeiten die Consistenz haben, welche nöthig ist, um sie in den Vertiefungen oder auf den Erhabenheiten der Druckvorrichtungen haften zu machen. Man benutzt daher allgemein sogenannte Verdickungsmittel; als solche dienen Gummi, Dextrin, Tragant, Leinsaamenschleim, Stärke- oder Mehlkleister, seltener Leim oder pulverförmige unlösliche Substanzen, wie z. B. Pfeifenthon. Die mit einem oder dem andern Mittel verdickten Farben können mit der Hand oder durch Maschinen aufgedruckt werden. Bei dem Handdruck dienen Formen (Model), welche die aufzudruckenden Muster erhaben darbieten, so daß, wenn die Form in eine dünne Schicht der Farbe eingesenkt und dann auf den aufgebreiteten Stoff gepreßt wird, der Abdruck erfolgen muß. Auch wendet man häufig Platten an, die gleichfalls das Muster in Erhabenheiten darbieten und mittelst Maschinen aufgedruckt werden. Sehr häufig dienen aber Walzen beim Zeugdruck; in diesen ist das Muster vertieft dargestellt, wird mit der verdickten Farbe ausgefüllt und der zu bedruckende Stoff unter der Walze, die sich entsprechend bewegt, hingeführt. Diese und ähnliche Behelfe gestatten nun, eine große Mannigfaltigkeit von Mustern und Farben zu erzeugen, denn man kann mehrerlei Substanzen nacheinander aufdrucken, indem man verschiedene Modelle oder Walzen bei demselben Zeuge in Anwendung bringt. Dabei kommen nun auch verschiedene chemische Mittel zu Hülfe, die eine große Man-

nigfaltigkeit gestatten. Wenn man z. B. die Stoffe mit einer Beize grundirt und dann eine Farbe aufdruckt, so werden die ungedruckten Stellen farblos bleiben, die gedruckten aber die entsprechende Farbe annehmen. Man kann aber umgekehrt den grundirten Stoff mit einer Mischung bedrucken, welche die Wirkung der Beize aufhebt, und dann wird beim Ausfärben gerade die bedruckte Stelle farblos, das übrige gefärbt erscheinen. Auch kann man bereits ausgefärbte Stoffe mit Substanzen bedrucken, welche dort die Farbe wieder wegnehmen. Die so vorerst ungefärbt gebliebenen oder entfärbten Stellen lassen sich dann nachträglich wieder mit neuen Mischungen bedrucken und so eine größere Anzahl von Farben erzeugen.

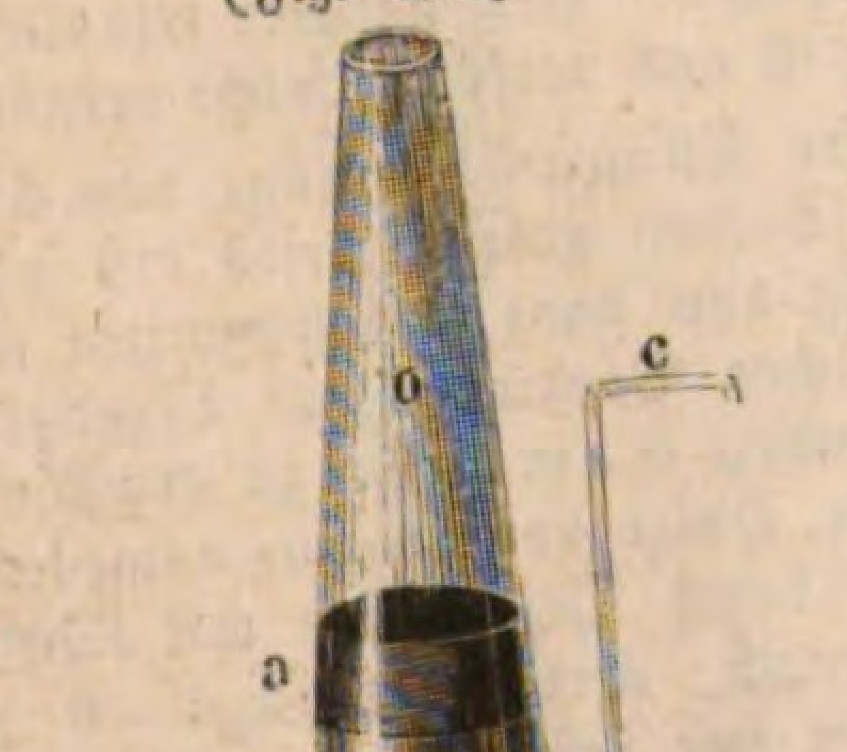
Dampffarben.

Ferner hat man zahlreiche Mischungen aufgefunden, die Beize und Farbstoff gemeinschaftlich enthalten und, nachdem sie aufgedruckt und sonst passend behandelt worden sind, bloß die bedruckte Stelle färben. Die Befestigung solcher Farben wird meistens durch heißen Wasserdampf vermittelt, den man zu den in Gehäusen eingelegten bedruckten Stoffen treten läßt; dieses Verfahren heißt der Dampfdruck und die dabei zur Anwendung kommenden Mischungen werden **Dampffarben** genannt. Neben einer großen Zahl von Combinationen verschiedener Materialien ist auch häufig Indigweiß in Anwendung, indem man alkalische Lösung derselben aufdruckt. Es ist unmöglich, hier nur einigermaßen in die Einzelnheiten einzugehen, und es mag ein Beispiel genügen, um einen Einblick in die Mittel zu gewähren, welche hier zur Anwendung kommen können. Wie wir schon oben erwähnt, kann man mittelst passender Benutzung von Thonerde- und Eisenoxydul-Beizen mehrere Nuancen von Roth, Violett, Braun bis Schwarzbraun durch Krapp hervorbringen. Man kann etwa die Beizen für Hell- oder Dunkelroth, Lila, Violett, Licht- und Dunkelbraun aufdrucken und nachher in einer Krappbrühe ausfärben, so werden in dieser einzigen Operation sechs verschiedene Farben hervorgerufen, während die unbedruckten Partien vorläufig noch farblos sind. Man kann dann weiterhin reducirtes Indigweiß, an anderen Stellen salpetersaures Bleioxyd, ferner Indigweiß mit salpetersaurem Bleioxyd aufdrucken und dann den Stoff in eine Lösung von chromsaurem Kali bringen; dadurch werden die mit Bleisalz bedruckten Stellen gelb, jene, wo sich bloß Indigweiß findet, blau und die mit Bleisalz und Indigweiß gemeinschaftlich bedruckten Stellen, wegen der Combination von Blau mit Gelb, grün erscheinen. Man hat dann noch immer in seiner Macht, durch Eindrucken von Dampffarben und Befestigen derselben die Anzahl der Farben zu erhöhen. Ueber das Schwarzfärben soll unten bei den Gerbstoffen noch das Nöthige mitgetheilt werden.

Aetherische Oele.

Eine andere Gruppe von Körpern der verschiedensten Constitution, welche durch empirische Merkmale gleich den Farbstoffen früher vereinigt, jetzt in immer mehr einzelne Unterabtheilungen zerfällt, ist die Klasse der sogenannten **ätherischen Oele**, unter welchen man alle in gewöhnlicher Temperatur flüssigen und zugleich flüchtigen Verbindungen zu verstehen pflegt, die, mit einem specifischen Geruch ausgestattet, diesen den Pflanzen ertheilen, in welchen sie auftreten. Daß Körper der verschiedensten Constitution in einer solchen Gruppe sich vereinigt finden müssen, erhellt aus den früheren Mittheilungen. Bittermandelöl z. B. und Senföl müssen beide hier eingereiht werden, obwohl das erstere ein aldehydartiger Körper, das Senföl Rhodanallyl, also eine Art zusammengesetzter Aether ist.

(Fig. 294.)



Man stellt die ätherischen Oele durch Destillation von den entsprechenden Pflanzentheilen mit Wasser dar, wobei die schwerer flüchtigen Oele mit den Wasserdämpfen übergehen und in der Vorlage dann gewöhnlich, da sie alle mehr oder weniger im Wasser löslich sind, eine von fein vertheiltem Oele getrübte wässerige Lösung desselben liefern, die man meistens wieder auf neue Pflanzentheile gießt und so bei einer zweiten Destillation den Gehalt an ätherischem Oel dergestalt steigert, daß ein namhafter Theil desselben ungelöst auf dem Wasser sich ansammelt. Man bedient sich hiebei gewöhnlich der sogenannten **Florentinervorlage**, Fig. 294. In dem Gefäße o sammeln sich Wasser und Oel an; letzteres, gewöhnlich leichter als das Wasser, bildet darüber eine Schichte a. In dem Maße, als sich die Vorlage füllt, muß endlich das Wasser b, falls das Oel bereits über dem Niveau des Abflußrohres c steht, durch letzteres abrinnen, um bei einer folgenden Destillation wieder zu dienen, während

sich das ätherische Oel in der Vorlage aufhäuft. Manche Pflanzentheile, wie Citronen- und Orangenschalen, enthalten in großen Drüsen so reichlich ätherisches Oel, daß dieses durch Auspressen daraus gewonnen werden kann. Viele ätherische Oele finden sich in den sogenannten **Balsamen** (siehe unten) und werden aus diesen durch Destillation mit Wasser gewonnen. Die überwiegend große Mehrzahl aller in solcher Weise dargestellten flüchtigen Oele ist als Gemenge mehrerer Substanzen zu betrachten. Unter diesen trifft man Kohlenwasserstoffe, sauerstoffhaltige, meist aus ersteren abgeleitete Verbindungen und von letzteren solche, die flüssig sind, sowie andere, welche im reinen Zustande starre Körper vorstellen und **Stearoptene** heißen.

Camphene. Wie sich aus diesen Andeutungen ergibt, sind die ätherischen Oele mit verschiedenem meist sehr unausgesprochenem chemischem Charakter ausgestattet und keineswegs sämmtlich flüssige Körper. Es findet sich aber unter ihnen eine Gruppe, deren einzelne Glieder hinsichtlich ihrer äußeren und chemischen Eigenschaften sehr große Aehnlichkeit darbieten. Es sind **Kohlenwasserstoffe**, welche sämmtlich nach ihrer procentischen Zusammensetzung der Formel: $C_{10}H_8$ entsprechen und deren gewöhnlich zwei gemeinschaftlich in einer Pflanze oder einem Produkte derselben, meistens noch gemengt, mit sauerstoffhaltigen flüchtigen Oelen auftreten. Sie haben den Namen **Camphene** erhalten. Die wichtigsten gemeinschaftlichen Eigenschaften derselben sind folgende: sie zeigen einen deutlichen, meist angenehmen Geruch, lösen sich schwierig im Wasser, dagegen im Weingeist. Ihr spec. Gew. beträgt durchschnittlich 0,82. Der Siedepunkt liegt bei 160 bis 180°, an der Luft oxydiren sie sich und gehen in harzartige Körper über, die man auch häufig bei ihrem natürlichen Vorkommen mit Camphenen gemengt antrifft. Concentrirte Salpetersäure veranlaßt, damit vermischt, eine Entzündung derselben und mit Jod verpuffen viele heftig. Mit Chlorwasserstoff vereinigen sich die Camphene direct und liefern feste oder flüssige Verbindungen, die einen kamphorähnlichen Geruch besitzen und bei Behandlung mit Kalk unter Bildung von Chlorcalcium und Wasser wieder einen Kohlenwasserstoff von gleicher Zusammensetzung, wie das ursprüngliche Oel, zum Vorschein kommen lassen, der aber in seinen Eigenschaften von letzterem, obwohl nicht wesentlich, abweicht. Die Camphene lösen Harze, Caoutschuck, Fette und viele andere im Wasser unlösliche Stoffe reichlich auf, weßhalb man die wohlfeileren, namentlich das Terpentinöl, zur Herstellung von Lackfirnissen, bei Verarbeitung des Caoutschucks vielfältig benutzt. Auch als Leuchtmaterial kommen sie zur Anwendung.

Terpentin-Oel. Das eben erwähnte **Terpentinöl** ist als das verbreitetste und zugänglichste der Camphene auch das wichtigste. Es findet sich in dem Terpentin, einem zähflüssigen Gemenge von Harzen und flüchtigen Oelen, welches in mehreren Sorten aus verschiedenen Nadelbäumen gewonnen wird, indem man Einschnitte in die Rinde macht und das ausfließende Produkt sammelt. Durch Destillation mit Wasser trennt man das Oel von dem zurückbleibenden Harz. Es ist im völlig reinen Zustande farblos, von unangenehmem Geruch, hat ein spec. Gew. von 0,86 und beginnt bei 157° zu sieden. Mit Chlorwasserstoff liefert es eine feste Verbindung von der Formel $C_{20}H_{16}.HCl$, die sich aus der Flüssigkeit abscheidet, während die Mutterlauge eine bräunliche flüssige Verbindung von derselben Zusammensetzung ist, woraus sich mit Sicherheit schließen läßt, daß im Terpentinöl wenigstens zwei isomere Kohlenwasserstoffe vorhanden sind. Unter dem Namen Camphin wird gereinigtes Terpentinöl als Leuchtmaterial verwendet. Eine gleiche Zusammensetzung zeigen uns Citronen-, Wachholderbeeren-, Elemi-, Kopaiva-, Pfefferöl u. a., welche sämmtlich zu den Camphenen gehören. Ein näherer Einblick in die Constitution dieser eigenthümlichen Kohlenwasserstoffe ist uns vorläufig nicht vergönnt.

Camphor. Nicht selten gewinnt man durch Destillation gewisser Pflanzen Gemenge von Camphenen mit sauerstoffhaltigen flüchtigen Oelen. Diese scheinen größtentheils erst durch Oxydation aus den Ersteren zu entstehen und sind häufig von ganz unbestimmtem noch nicht näher erkanntem chemischem Charakter. Unter solchen Produkten der Oxydation eines Camphens wäre der als Heilmittel vielseitig verwendete **Camphor** zu erwähnen. Der gewöhnliche oder japanesische Camphor findet sich im Holze von Laurus camphora, bisweilen in deutlicheren Krystallen abgelagert und wird durch Destillation mit Wasser daraus gewonnen. Er besitzt einen durchdringenden Geruch, verdampft schon in gewöhnlicher Temperatur reichlich an der Luft, schmilzt aber erst bei 150° und siedet bei 205°. Seine Zusammensetzung entspricht der Formel: $C_{20}H_{16}O_2$.

Harze. Wir haben bereits erwähnt, daß durch Oxydation aus den Camphenen häufig **Harze** entstehen. Diese in den Pflanzen sehr verbreitete Klasse von organischen Verbindungen ist uns hinsichtlich ihrer Constitution noch völlig unbekannt. Die Harze bilden in gewöhnlicher Temperatur feste spröde, meistens unkrystallinische, farb-, geruch- und geschmacklose Stoffe, die sich im Wasser durchaus nicht lösen, in der Wärme weich

und klebrig werden, aber ohne beginnende Zersetzung sich nicht völlig schmelzen lassen. Die meisten Harze lösen sich im Weingeist und Aether. Einige derselben scheiden sich aus derlei Lösungen im krystallinischen Zustande ab. Manche derselben besitzen auch saure Eigenschaften und verbinden sich mit den Alkalien zu löslichen seifenartigen Salzen, welche auch eine ähnliche Wirksamkeit wie die Fettseifen zeigen und als ein wohlfeileres Ersatzmittel der letzteren, gewöhnlich mit diesen gemengt, erzeugt und angewendet werden. Die Pflanzen scheiden häufig Harze in ätherischen Oelen gelöst aus. Diese Produkte bilden dann weiche dickflüssige Massen, welche man Balsame nennt. Ein solcher Balsam ist der schon mehrmals erwähnte Terpentin. Nach dem Abdestilliren des Oeles (siehe oben) bleibt ein Gemenge von zwei Harzsäuren zurück, welches das Colophonium des Handels bildet. Letzteres ist gelb bis braun gefärbt, spröde, glasartig und aus der Sylvin- und Pininsäure zusammengesetzt. Beide entsprechen der Formel: $C_{40}H_{30}O_4,HO$; erstere krystallisirt aus Weingeist, letztere scheidet sich daraus als eine amorphe Masse aus. Die obige Formel der beiden Säuren gibt uns ein Bild ihrer Entstehung durch Oxydation des Terpentinöls: $2C_{20}H_{16} + 6O = C_{40}H_{30}O_4 + 2HO$. Aehnliche Zusammensetzung und chemische Verhältnisse lassen sich bei vielen anderen Harzen beobachten, von denen manche vorzüglich zur Herstellung von Lackfirnissen dienen, wie z. B. Mastix, Sandarak, Kopal 2c. **Balsame.**

Manche Pflanzen liefern auch Gemenge von Gummi, Schleim, ätherischen Oelen und Harzen, die man Gummiharze nennt und meistens als Heilmittel verwendet.

Gerbstoffe. Wir wenden uns nun schließlich zur Besprechung einer anderen, der Pflanzenwelt angehörigen Gruppe organischer Verbindungen, die sehr verbreitet sind, in ihren einzelnen Gliedern manches Gemeinsame darbieten, durch ihren wenig hervorragenden chemischen Charakter und die große Zerleglichkeit bis jetzt aber eine vollständigere Erkenntniß ihrer eigentlichen Zusammensetzungsweise nicht zu erreichen gestatteten. Es sind dieß die sogenannten Gerbstoffe oder Gerbsäuren und gewisse, zumeist nur künstlich zu erhaltende Zersetzungsprodukte derselben. Sie haben ihren Namen von der Fähigkeit einiger derselben, die thierische Haut in Leder umzuwandeln, zu gerben. Fast jede Pflanze enthält merkliche Mengen solcher Gerbstoffe. Die meisten derselben sind nicht krystallisirbar, lösen sich leicht in Wasser und Weingeist, besitzen einen unangenehm zusammenziehenden Geschmack und haben den Charakter einer schwachen Säure, weßhalb sie auch Gerbsäuren heißen. Mit Eisenoxydsalzen zusammengebracht bilden sie einen dunkelblau-schwarz oder schwarz-grün gefärbten Niederschlag, weßhalb man sie auch empirisch in zwei Gruppen, die eisengrün- und eisenblau-fällenden Gerbsäuren abzutheilen pflegt. Diejenigen unter ihnen, welche zu gerben vermögen, fällen auch Leimlösungen, indem sie sich mit dem Leim zu einem flockigen Niederschlag vereinigen. Die alkalischen Salze derselben färben sich an der Luft unter Aufnahme von Sauerstoff sehr rasch braun. Am genauesten ist noch der in den Galläpfeln vorfindliche Gerbstoff bekannt, welcher den Namen Eichengerbsäure, Tannin erhielt. Die Galläpfel sind bekanntlich die durch Einstich der Gallwespe auf den Blättern verschiedener Eichen hervorgebrachten runden oder mehr unregelmäßigen Auswüchse. Sie enthalten je nach ihrer Herkunft und Behandlung mehr oder weniger (bis zu 70%) Tannin. **Eichengerbstoff.**

(Fig. 295.)



Um letzteres daraus zu gewinnen, werden die Galläpfel gewöhnlich gepulvert und in das Gefäß a des Extractionsapparates Fig. 295 geschichtet, dessen Mündung unten bei i mit Baumwolle verstopft ist. Hierauf gießt man wasserhaltigen Aether auf, verschließt mit dem eingeriebenen Stöpsel o und läßt die Flüssigkeit, nachdem a in die Flasche b eingesetzt wurde, mit den Galläpfeln einige Zeit in Berührung. Schließlich lüftet man bei o und läßt so die Flüssigkeit nach e abtropfen. Die Letztere bildet zwei Schichten, wovon die untere eine gesättigte wässerige Lösung von Gerbsäure ist, während die obere ätherische Flüssigkeit neben der Gerbsäure noch andere Extractivstoffe der Galläpfel enthält. Die wässerige Lösung dampft man im luftverdünnten Raume bei gewöhn-

licher Temperatur ein, wobei die Eichengerbsäure endlich als ein unkrystallinisches, gelblich weißes Pulver zurückbleibt. Ihre Constitution ist nicht mit Sicherheit ausgemittelt. Sie scheint ein Gemenge zu sein. Durch Einwirkung von verdünnten, erwärmten Mineralsäuren, sowie auch unter verschiedenen anderen Umständen zerfällt sie in Gallussäure und andere Substanzen, unter welchen sich auch etwas Zucker findet. Die Gallussäure ist farblos, krystallisirbar, findet sich auch schon in den Galläpfeln fertig gebildet vor, fällt Eisenoxydsalze blauschwarz, besitzt aber nicht das Vermögen zu gerben. Ihr Hydrat entspricht der Formel: $C_{14}H_3O_7,3HO$.

Gallussäure.

In den Rinden junger Eichen, in den Knoppern, findet sich eine der Eichengerbsäure ähnliche, vielleicht gleiche Gerbesäure vor, deren durch Aufgießen mit Wasser gewonnene wässerige Lösung das wichtigste Material zum Gerben thierischer Häute vorstellt, während Galläpfel hauptsächlich zur Anfertigung von Tinte und in der Färberei zur Verwendung kommen. In der allgemein bekannten Galläpfeltinte ist der durch Zusammenbringen von Eisenoxydsalz mit der Gerbsäure entstandene blauschwarze, fein vertheilte Niederschlag das färbende Princip.

Tinte.

Um Stoffe schwarz zu färben, beizt man dieselben mit Eisensalzen und bringt sie dann in Gerbstofflösungen, wobei sich das eben erwähnte schwarzblaue Eisenoxydsalz bildet und gleichzeitig auf der Faser befestigt. Als gerbstoffhaltige Materialien dienen dabei Galläpfel, Knoppern oder ein aus letzteren angefertigter wässeriger Extract, Kastanienbaumholz, Seerosenwurzel u. a. Als Eisenverbindung kömmt meistens Eisenvitriol oder essigsaures Eisenoxydul in Anwendung. In der Regel wird das Ausfärben einige Male wiederholt, indem man zunächst in die Gerbstofflösung eintaucht, dann die Lösung des Eisensalzes anwendet und endlich den Stoff an der Luft aushängt. Das Eisenoxydul nimmt dabei Sauerstoff auf und geht in die blaue Oxydverbindung über. Besonders echtes Schwarz auf Wollenstoffen wird durch vorhergehendes Ausfärben mit Indigo erzeugt, wornach man erst die Behandlung mit Gerbstoffen und Eisensalzen vor sich gehen läßt.

Schwarzfärben.

Ueber das Gerben, soweit die dabei zur Geltung gelangenden chemischen Verhältnisse in Betracht kommen, läßt sich wenig Zuverlässiges sagen. Die Gerbsäuren haben eine eigenthümliche Fähigkeit, sich mit den leimgebenden Substanzen zu vereinigen.

Gerberei.

Die thierische Haut hat eine deutliche Textur. Sie besteht aus drei Hauptschichten, deren stärkste die eigentliche Lederhaut, ein Gewirre von flachen, sich im verschiedensten Sinne durchkreuzenden Fäden vorstellt. Bringt man derlei Gewebe in eine Gerbstofflösung, so wird letzterer von der Haut vollständig aufgenommen und aus der Flüssigkeit entfernt. Ist die Haut damit gesättigt, so hat sie nicht nur an Festigkeit bedeutend gewonnen, sondern zugleich die den thierischen Substanzen so sehr eigenthümliche Zerleglichkeit eingebüßt, sie fault nicht mehr. Wir kennen jedoch die Art und Natur der Veränderung nicht, welche durch die Aufnahme der Gerbsäure hervorgerufen wird.

Auf dem erwähnten Verhalten beruht die Loh- oder Rothgerberei, welcher man meistens stärkere Häute unterwirft, um Sohlen-, Schuh-, Riemenleder u. dgl. zu erzeugen. Die in lohgaares Leder umzuwandelnden Häute müssen gehörig vorbereitet werden. Zuerst legt man sie in Wasser, damit dieses alle löslichen Bestandtheile ausziehe; hierauf folgt das Enthaaren, welches meistens unter Vermittlung von Kalk geschieht, indem man die Häute in dünne Kalkmilch einlegt und dafür sorgt, daß diese sich gleichförmig vertheile. Der Kalk lockert die aus Hornsubstanz bestehende Epidermis auf, welche die Oberhaut und die Wände der Haarsäcke bildet. Sobald diese Auflockerung den richtigen Grad erreicht hat, lassen sich die Haare sehr leicht ausziehen, was mittelst eines stumpfen Schabemessers bewerkstelligt wird. Nun muß der Kalk vollständig beseitigt werden, zu welchem Zwecke man die enthaarten Häute in essigsäurehaltiges Wasser (gegohrenes Gerstenschrot, Lohbrühe u. dgl.) einlegt. Der Kalk wird dadurch in Lösung geführt, aber zugleich die Haut selbst bedeutend aufgequellt und gelockert und so zur Aufnahme des Gerbstoffes geeignet gemacht. Nun beginnt das eigentliche Gerben, indem man die Häute in die Lösung des Gerbstoffes bringt. Als gerbstoffhaltiges Material dient hier fast ausschließlich Eichenlohe, besonders bei starken Häuten. Diese ist die Rinde von jungen Eichenbäumen. Den darin vorfindlichen Gerbstoff kennt man übrigens nicht näher. Außer diesem wichtigsten Gerbmaterial benutzt man auch, namentlich für dünnere Häute, die Rinde von Weiden und Ellern, Kastanien, Schmack (die Zweige einer Rhusart), Knoppern (krankhafte Auswüchse an den Kelchen der Eichen) u. s. w. Das Ausziehen solcher Materialien mit Wasser und die Benutzung der so hergestellten Brühe kommt selten zur Anwendung, sondern man schichtet die Häute mit den Gerbmaterialien und übergießt das Ganze mit Wasser; dieses löst die Gerbsäure auf und führt sie den Häuten zu. Sobald das Gerbemittel

erschöpft ist, wird der Vorgang wiederholt und damit so lange fortgefahren, bis das Leder gaar geworden. Je langsamer das Gerben vor sich geht, um so besser ist das Produkt. Starke Häute bedürfen, um in gutes Leder umgewandelt zu werden, 8 bis 12 Monate und mehr, dünnere sind schneller fertig. Alle Methoden der sogenannten Schnellgerberei bezwecken den Gerbeprozeß zu beschleunigen, was aber immer auf Kosten der Güte des Produktes geschieht.

Eben so wenig, wie die Theorie der Lohgerberei, ist uns die des Weißgerbens und Sämischgerbens bekannt. Die Weißgerberei bezweckt die Herstellung von weißen, weichen, geschmeidigen Ledersorten und kommt nur bei dünnen Fellen (von Lämmern und Ziegen) zur Anwendung. Sie liefert uns vorzugsweise das Leder für die Glacéhandschuhe. Die Felle werden in ähnlicher Weise, wie für die Lohgerberei, vorbereitet und dann mit einer Lösung von Kochsalz und Alaun behandelt, welche offenbar durch Doppelzersetzung entstandenes Chloraluminium enthält, von dem die Haut eine gewisse Menge aufnimmt und dadurch die das weißgegerbte Leder charakterisirenden Eigenschaften erhält. Beim Sämischgerben, welches das sogenannte Waschleder liefert, dient als Gerbemittel fettes Oel, welches man durch Besprengen, Zusammenballen und Schlagen der Häute diesen einverleibt, dann die Häute übereinander geschichtet längere Zeit in einem verschlossenen Raume verweilen läßt und schließlich der Einwirkung der Luft aussetzt. Das Fett erleidet dabei gewisse, nicht näher bekannte Veränderungen; ein Ueberschuß desselben bleibt übrigens immer in dem fertigen Leder zurück und wird schließlich durch wiederholtes Einweichen in eine lauwarme Pottaschelösung, Ausringen und Waschen mit Wasser beseitigt. Es versteht sich übrigens von selbst, daß alle erwähnten Ledersorten nach Vollendung des eigentlichen Gerbeverfahrens noch weiter durch geeignete Mittel, wie Glätten, Beschneiden u. s. w., für den Gebrauch zubereitet werden.

VI.

Der Stoffwechsel.

Unter diesem Namen pflegt man jene Erscheinungen zu verstehen, welche mit den chemischen Umwandlungen der organischen Substanzen zusammenhängen und deren Ineinandergreifen die Entstehung, Entwicklung uud schließliche Auflösung der Organismen bedingt. Doch können wir dem Stoffwechsel, dem sogenannten Kreislauf der Materie, eine weitere, umfassendere Bedeutung geben, denn eine stetige Umwandlung zahlreicher chemischer Verbindungen findet auch im umfassendsten Maße außerhalb der Organismen statt und äußert sich häufig nicht nur in einer chemischen, sondern auch in einer Ortsveränderung der betreffenden Stoffe.

Wir sind noch keineswegs über alle Einzelnheiten dieser unaufhörlichen Umwandlungen im Klaren und namentlich fehlen uns in sehr vielen Fällen begründete Vorstellungen über die Entstehung vieler Körper, welche wir theils in einer chemischen, theils in einer mechanischen Wanderung begriffen sehen. Unsere Kenntnisse sind aber doch weit genug vorgeschritten, um ein allgemeines Bild dieses Stoffwechsels aufstellen zu können. Wir müssen uns übrigens hier aus Rücksicht für den gebotenen engen Raum darauf beschränken, die wichtigsten und am genauesten bekannten natürlichen Vorgänge und den Zusammenhang derselben anzudeuten.

Es war schon im Vorhergehenden die Rede davon, daß an vielen Stellen Gase durch die Erdrinde in die Atmosphäre dringen, und wir haben dieselben auch bereits genannt. Am reichlichsten unter ihnen tritt die Kohlensäure auf, welche theils rein, theils mit anderen Gasen gemengt, am häufigsten aber vom Wasser absorbirt, zu Tage gelangt. Wir können uns auch nicht eine annähernd richtige Vorstellung über die Menge der verschiedenen Gase machen, welche jährlich in solcher Weise auf die Oberfläche kommen, doch muß die Quantität außerordentlich groß sein, was wir aus jenen wenigen, vorliegenden Beobachtungen schließen können, welche über diesen Gegenstand angestellt wurden. So führt die Soole zu Nauheim jährlich gegen 8 Millionen Cubikfuß Kohlensäure mit sich hinauf. Eine einzige Gasquelle zu Marienbad, welche dort zu Gasbädern verwendet wird, liefert jährlich 1,300,000 Cubikfuß Kohlensäure. Von demselben Gase liefern die Quellen von Pyrmont $6^1/_2$ Millionen Cubikfuß jährlich, jene von Driburg 2 Millionen, und zu Mainberg finden sich zwei Quellen, mit deren Wasser jährlich $10^1/_2$ Millionen Cubikfuß Kohlensäure der Atmosphäre zu-

geführt werden. So groß nun diese Ziffern auch erscheinen mögen, so sind sie doch verschwindend klein gegenüber jener Zahl, welche die Gesammtmenge von Kohlensäure ausdrücken sollte, die auf solchem Wege zu Tage kommt. An Tausenden von Orten finden sich Kohlensäure führende Quellen, der anderen Gase gar nicht zu gedenken, die, namentlich in vulcanischen Gegenden, reichlich dem Erdinnern entströmen.

Erscheinen uns schon die Bewegungen der gasförmigen Körper großartig, so treten uns überwältigende, kaum geahnte Zahlen entgegen, wenn wir die Bewegung der Stoffe betrachten, welche durch das fließende Wasser vermittelt wird. Von diesem ist immer eine gewisse Menge in einem bestimmten Kreislaufe begriffen, indem es sich als Dampf der Atmosphäre beimengt, als Schnee und Regen zur Erdoberfläche zurückkehrt und in Gestalt von Bächen, Flüssen, Strömen über diese hingleitet oder, in das Innere dringend, auf seinen Wegen den Gesteinen lösliche Stoffe entnimmt, Gase, denen es begegnet, absorbirt und endlich als Quellen wieder zum Vorschein kommt. Die Wirkung des Wassers ist dabei theils eine mechanische, theils eine chemische.

Sie erscheint uns auf den ersten Anblick als unbedeutend, weil, wo nicht gewaltsame Ereignisse eintreten, die Veränderungen, welche Wasserströmungen bedingen, allmälig vor sich gehen und ein Menschenalter oft zur Beobachtung eines deutlichen Erfolges kaum hinreicht. Ziehen wir aber die Geologie zu Rathe, so entwickeln sich aus den von dieser Wissenschaft festgestellten Thatsachen Umwandlungen der festen Erdrinde durch Wasser, welche die kolossalsten Dimensionen annehmen, deren Zustandekommen allerdings aber auch Millionen von Jahren erforderte. Wir dürfen uns ja nicht dem Glauben hingeben, daß diese Veränderungen in unserer Zeit zum Stillstand gekommen sind, und wenn wir auch jetzt, so wie in der von der Geschichte erreichbaren Zeit, keine so heftigen Catastrophen mehr wahrnehmen, wie jene, von denen die älteren Bildungen unserer Erdrinde Zeugniß geben, so sind doch die Wasserströmungen noch immer im hohen Grade thätig und werden, freilich in einer fernen Periode, so durchgreifende Veränderungen der Erdoberfläche herbeigeführt haben, wie jene sind, welche sich ergeben, wenn wir die sogenannten vorweltlichen Zustände mit den gegenwärtigen vergleichen.

Wir verweisen bezüglich der mechanischen Wirkung des Wassers in der Jetztzeit auf die Geologie und wollen nur auf die ungeheueren Mengen Mineralsubstanzen, welche die Flüsse ungelöst mit sich führen, hindeuten. Hier wollen wir uns darauf beschränken, die chemischen Veränderungen, als deren Vermittler das Wasser erscheint, sowie seine Wirkung als Lösungsmittel, zunächst in Bezug auf die leblose Natur kurz zu berühren. Das Wasser, welches in die Erde dringt oder über derselben hinfließt, enthält immer Luft und Kohlensäure. Die Menge der letzteren wird, wie erwähnt, namhaft gesteigert, wenn das Wasser im Inneren gasförmiger Kohlensäure begegnet, die es reichlich absorbirt. Wie wir schon Seite 521 erwähnt, wirkt diese auf viele Gesteine oder auf Bestandtheile derselben lösend, und das Wasser gelangt, mit Salzen beladen, zu Tage, welche sich ursprünglich nicht an jenen Stellen gefunden haben, die mit dem Wasser in Berührung kamen, sondern sich erst durch die Einwirkung der Kohlensäure bildeten. Es sind dies vorwiegend die zweifach-kohlensauren Salze der Alkalien, des Kalks, der Bittererde und des Eisenoxyduls. Zudem aber begegnet das Wasser auch Verbindungen, die es ohne vorhergegangene chemische Ein-

wirkung zu lösen vermag und weiter führt. Unter diesen sind manche, die sich wechselseitig zersetzen und so zur Bildung von Verbindungen Veranlassung geben, die ursprünglich nicht in dem Gesteine vorhanden waren. Häufig begegnen sich Quellen von verschiedener Zusammensetzung, mischen sich und geben so zur Bildung neuer gelöster Verbindungen Veranlassung. Die Rolle, welche der Sauerstoff bei diesen Vorgängen übernimmt, geht aus seinem chemischen Charakter hervor; er wirkt oxydirend. Seinem Einflusse verfallen besonders Eisenoxydul, Manganoxydul und Schwefelmetalle, wie Kupfer- und Eisenkies, die dabei in Kupfer- und Eisenvitriol übergehen, welche man nicht selten in Gewässern gelöst findet, die mit den genannten Erzen in Berührung kamen. Wir haben über manche dieser Umwandlungen schon früher Andeutungen gegeben und wollen diese durch einige Zahlenresultate vervollständigen. Viele warme und kalte Quellen führen soviel zweifach-kohlensauren Kalk und zweifach-kohlensaures Eisenoxydul mit sich, daß sie an der Luft, unter Abgabe von Kohlensäure, reichlich neutralen kohlensauren Kalk und derlei Eisenoxydulsalz fallen lassen, welches letztere weiter Kohlensäure abgibt und unter Aufnahme von Sauerstoff in Eisenoxydhydrat übergeht. Diese Vorgänge veranlassen die Bildung von den sogenannten Sinterabsätzen, welche häufig in bedeutender Mächtigkeit auftreten. Die warme Soole von Neusalzwerk z. B., welche zu 60 Cubikfuß in der Minute zu Tage kömmt, führt jährlich 18,078 Zentner kohlensauren Kalk und 1390 Zentner kohlensaures Eisenoxydul mit sich, von denen sich ein guter Theil in einem Kanale ablagert, durch welchen die Soole abfließt. Die mächtigen Ablagerungen des Karlsbader Sprudels, die sogenannte Sprudelschale und der Sprudelstein, sind allgemein bekannt. Beide bestehen hauptsächlich aus kohlensaurem Kalk. 50 Quellen bei Cannstadt liefern in 24 Stunden 800,000 Cubikfuß Wasser, in welchen 2000 Zentner kohlensaurer Kalk gelöst sind. Die Gegenstände, welche in den, in der Nähe der Cascaden von Tivoli sich verbreitenden Wasserstaub gebracht werden, überziehen sich bald mit einer Kruste von kohlensaurem Kalk. Es ist eine große Anzahl von warmen und kalten Quellen besonders in Italien und Kleinasien bekannt, welche in der angedeuteten Weise zur Bildung von Sinterabsätzen Veranlassung geben, und so eine Wanderung des kohlensauren Kalks aus dem Erdinnern auf die Oberfläche der Erde vermitteln. Doch sind dem Kalksalz immer andere Mineralstoffe beigemengt, die den Kalk allerdings nur in geringer Quantität begleiten, deren Gesammtmenge aber bei den Dimensionen dieser Bewegung wohl nach Millionen Zentner veranschlagt werden kann. Spärlicher als die genannten Salze bewegt sich unter Vermittlung des Wassers die Kieselsäure, die jedoch an manchen Orten reichlich genug im Wasser gelöst auftritt, um Ablagerungen zu veranlassen.

Manche Salze folgen dem Wasser bloß, da sich dieses ihnen als Lösungsmittel darbietet. Unter diesen sind Gyps, Glaubersalz und Kochsalz besonders zu erwähnen. In Bezug auf letzteres liegen einige annähernde Berechnungen vor. Es findet sich in jedem Flußwasser. Man veranschlagt die Menge des Flußwassers, welches jährlich dem Meere zuströmt, auf 75 Cubikmeilen. Wenn darin nur auf je eine Million Gewichtstheile ein Theil Kochsalz gelöst enthalten ist, welches Verhältniß gewiß in vielen Flüssen namhaft überschritten wird, so strömen jährlich 654 Millionen Zentner Kochsalz dem Meere zu. Das Wasser hat das Kochsalz den Gesteinen entzogen oder geradezu durch Berührung mit Steinsalz aufgenommen. In letzterem

Falle muß es Hohlräume erzeugen, die mit Wasser ausgefüllt werden. Welche großartige Veränderungen unter der Erde dadurch hervorgerufen werden, läßt sich leicht ermessen. Die Salzsoolen zu Dürenberg betragen jetzt jährlich 40 Millionen Cubikfuß und führen 1,723,000 Cubikfuß Steinsalz mit sich. Vom Jahre 1763, wo diesfalls genaue Beobachtungen begonnen wurden, bis zum Jahre 1845 sind bei Dürenberg der Erde 141 Millionen Cubikfuß Steinsalz entzogen worden, und die dadurch entstandenen Hohlräume haben sich mit Wasser gefüllt. Wohin die gelösten Substanzen zunächst gelangen, ist leicht festzustellen, sie müssen sich im Meere aufhäufen, die Ablagerungen und Inkrustationen von Kochsalz an Stellen, die offenbar früher Meeresgrund gewesen, beweisen uns, daß allmälig das im Meere gelöste Salzgemenge wieder durch theilweises Verdunsten in den festen Zustand übergeführt wird, und sich so Ablagerungen bilden können, die erst weit später neuerdings unter Vermittlung des Wassers ihre Bewegung zu wiederholen im Stande sind. Aus dem Gesagten ergiebt sich aber, welch unfaßbare Mengen von verschiedenen unorganischen Stoffen unter Mitwirkung des Wassers stets in Bewegung und theils in Wechselwirkung begriffen sind.

Eine andere Art von Umwandlung zeigt sich in den Pseudomorphosen. Diese sind Mineralstoffe, welche durchgreifende chemische Veränderungen erlitten haben, ohne einen Ortswechsel zu erfahren. Bei ihrer Entstehung und Vollendung führt das Wasser den Mineralien gewisse Stoffe zu und nimmt die Zersetzungsprodukte mit sich. Es sind bereits sehr viele Pseudomorphosen bekannt und man lernt noch immer neue kennen. Eine nähere Besprechung derselben gehört der Mineralogie an.

Welche Wanderungen verschiedener Stoffe die vulcanischen Erscheinungen mit sich bringen, wie groß die Massen sind, welche bei den Eruptionen aus dem Erdinnern nach oben getrieben werden und sich da verbreiten, lehrt die Geologie.

Daß eine große Menge unorganischer Stoffe durch die Organismen umgewandelt und in Bewegung gesetzt wird, wollen wir unten noch näher ausführen, doch verdienen hier schon jene Organismen Erwähnung, welche die Aufhäufung unorganischer Substanzen in besonders hohem Grade vermitteln; es sind dies die Korallen und einige Infusorien. Die Korallenbänke und Riffe, die sich endlich zu größeren Inseln entwickeln, sind bekanntlich die aus kohlensaurem Kalk bestehenden Skelette dieser Thiere. Die sogenannte Kieselguhr und andere da und dort große Strecken bedeckenden Ablagerungen sind die aus Kieselsäurehydrat bestehenden unorganischen Reste der Räderthierchen. Andere Infusorien haben die Kreide gebildet und es erregt Erstaunen, daß diese mikroscopischen Gebilde so große Massen durch ihre Lebensthätigkeit aufzuhäufen im Stande waren. Directe Beobachtungen haben uns darüber Aufklärung gegeben, indem sie eine außerordentliche Vermehrungsfähigkeit dieser Thierchen herausstellten. Die Abkömmlinge eines einzigen solchen Thieres können sich so vervielfältigen, daß sie nach Verlauf von dreißig Tagen zu einer Trillion Individuen anwachsen. Wenn wir nun das Gewicht eines solchen Räderthierchens nur zu $^1/_{2000}$ Gran veranschlagen, so beträgt das Gewicht der Abkömmlinge einer Mutter nach dreißig Tagen 650 Millionen Zentner, und die Schicht von Kieselsäure, welche sie aufgehäuft haben, kann eine Quadratmeile mit einer Mächtigkeit von $1^3/_4$ Fuß bedecken. Welche Masse von Kieselsäure vermögen daher diese Thierchen dem Wasser, worin sie leben, zu entziehen und an bestimmten Stellen abzulagern.

Die unorganische Welt befindet sich in einer verhältnißmäßig trägen Bewegung, doch wenn auch Jahrtausende vergehen, bis sich gewisse bis dahin ruhende Massen in Bewegung setzen, so ist doch nicht zu zweifeln, daß diese Bewegung eintreten wird, während andere bis dahin cirkulirende Stoffe wieder zur Ruhe gelangen, die vielleicht in sehr später Zukunft wieder eine Unterbrechung erfährt. Viel rascher verlaufen die Veränderungen, welchen jener Theil der Elemente verfällt, die an der Bildung und Entwicklung der Organismen Antheil nehmen. Wie wir schon früher zu erwähnen Gelegenheit hatten, bestehen die organischen Substanzen aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff. In welcher Weise sich diese Elemente bei der Bildung jener organischen Substanzen, aus denen die Organismen bestehen, aneinander fügen und wodurch sie bestimmt werden, derlei Verbindungen hervorzubringen, ist uns noch unbekannt.

Man war früher der Meinung, daß, außerhalb der lebenden Organismen überhaupt, die Bildung von organischen Substanzen nicht vor sich gehen könne, da hiezu eine eigenthümliche, bloß in den Organismen wirksame Kraft erforderlich sei, die auch den übrigen nicht-chemischen Lebensvorgängen vorstehe und den Namen Lebenskraft erhalten hat. Wenn sich nun auch nicht läugnen läßt, daß noch viele Lebenserscheinungen auf ihre naturwissenschaftliche Erklärung warten müssen, und wenn wir auch oben hervorgehoben haben, wie uns die Einzelnheiten bei der Bildung organischer Substanzen in den Organismen noch unbekannt sind, so erscheint doch die Annahme, als wenn organische Körper sich nur in Organismen bilden können, durch die Erfahrung als vollständig widerlegt, da man schon eine ziemliche Anzahl von organischen Substanzen, unter denen wir manche kennen, welche als Produkte der Lebensthätigkeit auftreten, auf künstlichem Wege, ohne alle Vermittlung von lebenden oder abgestorbenen Organismen, zu erzeugen gelernt hat. So entsteht z. B. das Seite 578 beschriebene Cyan in den Eisenhohöfen. Es findet sich dort als Cyankalium und kann, wie wir bereits erwähnten, daraus als Cyanwasserstoff abgeschieden werden, welcher, nach dem Seite 579 Mitgetheilten, leicht in Ameisensäure übergeht. Cyansaures Kali mit Salmiaklösung eingedampft, liefert Krystalle von Harnstoff. Leitet man über glühendes Eisen gemeinschaftlich Dämpfe von Wasser und Schwefelkohlenstoff, so bilden sich Kohlenwasserstoffe, unter denen namentlich ölbildendes Gas und Propylen. Läßt man ölbildendes Gas mit concentrirter Schwefelsäure in Berührung kommen, so entsteht die Seite 597 beschriebene Aetherschwefelsäure, aus welcher man leicht Weingeist abscheiden kann, der bekanntlich eine große Reihe von Umsetzungsprodukten zu liefern vermag. Das Propylen läßt sich in eine Jodverbindung überführen, aus welcher man mittelst Rhodankalium (Seite 605) Senföl erzeugen kann. Es ist überflüssig, weitere Beispiele anzuführen, da ein einziges genügt, um die Richtigkeit der obigen Ansicht zu begründen.

Alles Leben beginnt mit dem Keim und hängt unabweislich von Luft und Wasser ab. Die Aufgabe, organische Substanzen zu bilden, haben in der Natur ausschließlich die Pflanzen. Die Thiere besorgen nur eine entsprechende Umwandlung der von den Pflanzen vorgebildeten Stoffe. Woher die Pflanzen das Material nehmen, aus welchem die organischen Substanzen entstehen, kann nicht zweifelhaft sein, wenn wir uns erinnern, daß viele Pflanzen im reinen Wasser gedeihen und sich so entwickeln, daß ihr Gewicht sich sehr bedeutend steigert. Der Kohlenstoff der organischen Körper in den

Pflanzen rührt ausschließlich von der Kohlensäure her; der Wasserstoff stammt zum größeren Theil aus dem Wasser, zum Theil aber aus dem in der Atmosphäre entstehenden Ammoniak, welcher den Stickstoffgehalt der Pflanzen liefert; doch ist man noch nicht im Reinen, ob nicht etwa der unverbundene Stickstoff der Atmosphäre gleichfalls von den Pflanzen assimilirt werden kann. Der Sauerstoffgehalt der organischen Substanzen stammt theils aus der Kohlensäure, theils aus dem Wasser. Schwefel und Phosphor entnehmen die Pflanzen den schwefel- und phosphorsauren Salzen des Bodens, welche überhaupt, sowie andere unorganische Verbindungen, für die Entwickelung der Organismen unentbehrlich erscheinen.

Da nun alle organischen Verbindungen weniger Sauerstoff enthalten, als Kohlensäure oder Wasser, so müssen diese, sobald ihr Kohlenstoff und Wasserstoff zur Bildung organischer Substanzen dient, Sauerstoff abgeben, was auch in der That stattfindet. Die meisten Pflanzen entwickeln, namentlich im directen Sonnenlichte, Sauerstoff, während der Kohlenstoff und Wasserstoff zurückgehalten werden.

Zur Entwickelung einer Pflanze sind nicht nur die genannten Materialien, sondern auch gewisse andere Verhältnisse unentbehrlich. Unter diese gehört vor Allem die richtige Beschaffenheit der Erde, in welcher sie gedeihen. Die fruchtbare Erde ist ein Produkt der Verwitterung verschiedener Gesteine und bietet zunächst den Pflanzen, welche in ihr gedeihen, eine ihren specifischen Bedürfnissen entsprechende Unterlage dar, sie ist daher locker und für Wasser durchdringlich. Pflanzen, welche im Wasser gedeihen, ohne in einen Boden zu wurzeln, finden dennoch die für ihr Bestehen nothwendigen unorganischen Stoffe in dem Mittel, welches sie trägt, während auch der Boden immer diese enthalten muß und zwar zugleich in einem Zustande, welcher die Aufnahme seitens der Pflanzen ermöglicht. Keineswegs bedürfen aber alle Pflanzen dieselben mineralischen Bestandtheile für ihre Entwicklung, wie uns die Untersuchung der Asche, welche sie beim Verbrennen zurücklassen, beweist; auch sind die Mineralsubstanzen nicht in der Pflanze gleichmäßig vertheilt, sondern wechseln nach Qualität und Quantität in der Rinde, Blüthe, Blättern, Samen u. s. w. Als unentbehrliche Bestandtheile im Allgemeinen können wir bezeichnen: Kieselsäure, phosphorsauren Kalk, kohlensauren Kalk, schwefelsaures Natron, schwefelsaures Kali, Chlorkalium, Chlornatrium, Eisenoxyd und Manganoxyd. Diese Stoffe werden zum Theil unverändert aufgenommen, zum guten Theil aber in der Pflanze chemisch verändert, und die Alkalien oder der Kalk finden sich in den Organismen in merklicher Menge an organische Säuren gebunden.

Der Ackerboden hat die Fähigkeit, reichlich Kohlensäure, Feuchtigkeit und Ammoniak zu absorbiren und so gewissermaßen für die darauf gedeihenden Pflanzen einen Vorrath von diesen wichtigen Nahrungsmitteln aufzuspeichern. Was nun aber die Art der Aufnahme anlangt, durch welche die unorganischen Stoffe in die Pflanze gelangen, so kann diese nur durch die Wurzeln stattfinden, und man war bis in die neueste Zeit allgemein der Ansicht, daß dieses durch eine einfache Aufsaugung der unter Vermittelung der Kohlensäure in wässriger Lösung vorhandenen Mineralstoffe geschieht. Neuere Versuche haben indessen bewiesen, daß die Ackerkrume die merkwürdige Eigenschaft besitzt, die Lösungen zu fixiren und deren Inhalt in ihren Zwischenräumen so fest zu halten, daß er durch Wasser nicht mehr weiter geführt werden kann, und es ist in diesem Augenblicke unmöglich zu

erklären, in welcher Weise die unorganischen Stoffe unter Vermittlung der Wurzeln in die Pflanzen gelangen.

Ueber die eigenthümliche Thätigkeit der Zellen wurde bereits Seite 580 gesprochen. An den zahlreichen, innerhalb derselben stattfindenden chemischen Umwandlungen nimmt auch der Sauerstoff der Luft thätigen Antheil, und manche durch Reduction der Kohlensäure gebildeten Substanzen werden wieder oxydirt und Kohlensäure daraus abgeschieden. Die Pflanzen hauchen somit neben Sauerstoff auch Kohlensäure aus, von letzterer aber immer weit weniger, als von ersterem. Während des Lebens der Pflanze setzt sich diese Wechselwirkung zwischen den Bestandtheilen derselben und jenen der Luft fort, endlich stirbt der Organismus ab und der Sauerstoff der Luft gelangt zu seiner vollen chemischen Geltung. Die Verwesung beginnt und nach längerer oder kürzerer Frist sind die der Atmosphäre entnommenen Elementarbestandtheile, als Kohlensäure, Wasser und Ammoniak, wieder in die Luft zurückgekehrt.

Wie wir schon früher erzählt, vermögen die Thiere nicht, aus den eben angeführten Verbindungen organische Substanzen zu bilden. Die Pflanzen müssen den Thieren erst jene Stoffe vorbereiten, welche die letzteren zu ihrer Entwickelung und Fortdauer benöthigen. Die Pflanzen bieten also den Thieren die Nahrungsmittel, wie die Atmosphäre den ersteren. Diese Behauptung steht nicht im Widerspruche zu dem Umstande, daß sich viele Thiere ausschließlich von anderen Thieren nähren, denn in diesem Falle beziehen die Thiere den Nahrungsstoff freilich nicht direct von den Pflanzen, aber die anderen Thiere sind entweder direct oder in ähnlicher Weise wie die ersteren indirect auf Pflanzenkost angewiesen. In den thierischen Organismen erleiden nun die durch die Pflanzen vorgebildeten organischen Stoffe zahlreiche Umwandlungen, welche sich nicht nur auf die Entwickelung, sondern auch auf die Forterhaltung der thierischen Organismen beziehen. Die Thiere nämlich stehen mit der Atmosphäre in einer noch innigeren Wechselbeziehung, als die Pflanzen, da die Wirkung des Sauerstoffs bei den Thieren noch weit eingreifender ist. Während nämlich der größere Theil der in den Pflanzen sich bildenden Stoffe, wenn diese auch mannigfaltige Veränderungen erleiden, in dem Organismus verweilt, wird der thierische Organismus in allen seinen Theilen durch den Sauerstoff zerstört, einer wahren Verbrennung unterworfen, und muß deßhalb beständig für die Erneuerung der zersetzten Gebilde sorgen. Die Oxydation besorgt der Sauerstoff unter Vermittlung der Respirationsorgane, die, mögen sie was immer für eine Einrichtung besitzen, immer die Aufgabe haben, Luft in den Organismus zu führen, deren Sauerstoffgehalt unter Vermittlung des cirkulirenden Blutes an allen Stellen des Körpers zur Wirksamkeit gelangt und eine vollkommene oder theilweise Oxydation bewirkt. Die vollkommene Oxydation endigt natürlich mit der Bildung von Kohlensäure und Wasser, welche die Athmungsorgane wieder aus dem Körper schaffen. Andere Substanzen dagegen werden zwar durch den Sauerstoff so verändert, daß sie nicht mehr an der Zusammensetzung des Körpers Antheil nehmen, aber nicht vollständig in gasförmige Produkte umgewandelt, und treten dann im Harn, Schweiß u. dergl. aus. Um nun diesem beständigen Eingriff des atmosphärischen Sauerstoffs das Gleichgewicht zu halten, müssen die Thiere regelmäßig Nahrung zu sich nehmen. Diese besteht nun aus den gehörig zusammengesetzten, hiezu tauglichen Substanzen, wie sie gewisse Pflanzen und Thiere enthalten, und aus den in den Pflanzen

vorfindlichen unorganischen Stoffen, welche die Thiere für ihre Entwickelung gleichfalls nicht entbehren können.

Die zur Vorbereitung der eingeführten Nahrungsmittel dienenden Organe heißen Verdauungsorgane. In ihnen erfolgt eine passende Umwandlung der Nahrungsmittel, die hierauf unter Vermittlung der Cirkulation an alle Stellen des Organismus getragen werden, wo sie die durch die Respiration abgenutzten Gebilde ersetzen und erneuern. Am genauesten sind diese Vorgänge hinsichtlich des menschlichen Organismus bekannt und wir verweisen betreffs der diesfälligen Einzelnheiten auf die Physiologie. Es ist klar, daß die Pflanzen, welche Thieren und Menschen als Nahrung dienen, schließlich eigentlich dieselbe chemische Zersetzung erlitten haben, wie durch die Verwesung, nur wird sie dadurch ungemein beschleunigt und so ein viel rascherer Wechsel zwischen dem Kohlenstoff der Atmosphäre und jenem der Organismen eingeleitet. Wenn wir aber im Allgemeinen die Thätigkeit der Thiere mit jener der Pflanzen vergleichen, so ist ein entschiedener Gegensatz nicht zu verkennen. Die Pflanzen entnehmen der Luft Kohlensäure und geben ihr dagegen Sauerstoff zurück, die Thiere aber nehmen den Sauerstoff auf und verwandeln den, von den Pflanzen in organische Stoffe übergeführten, Kohlenstoff wieder in Kohlensäure. Beim Wasser findet ganz Aehnliches statt. Durch diesen merkwürdigen Antagonismus der chemischen Erfolge im Pflanzen- und Thierreiche wird das Verhältniß der Bestandtheile der Atmosphäre beständig gleich erhalten. In welchem großartigen Maßstabe diese, der oberflächlichen Beobachtung sich völlig entziehenden Vorgänge stattfinden, mag uns eine einfache Betrachtung der Kohlenstoffmenge zeigen, welche die auf der Erde lebenden Menschen jährlich für ihre chemischen Lebensfunctionen in Anspruch nehmen. Ein Mensch bedarf täglich durchschnittlich 20 Loth Kohlenstoff in Gestalt von assimilirbaren Nahrungsmitteln. Eine gleiche Menge haucht er täglich als Kohlensäure aus. Der Respirationsprozeß des Menschen liefert somit jährlich $8^3/_{10}$ Centner Kohlensäure. Wenn wir nun die menschliche Bevölkerung der Erde auf etwa 1000 Millionen Individuen veranschlagen, so werden durch diese allein jährlich beiläufig 8300 Millionen Centner Kohlensäure ausgeathmet und der Luft zugeführt. Diese Menge erscheint uns gewiß sehr bedeutend, doch ist sie in Wirklichkeit verschwindend klein, wenn wir sie mit der in der Atmosphäre vorräthigen Kohlensäure vergleichen, deren Quantität 86 Billionen Centner beträgt.

Thiere und Menschen sterben gleich den Pflanzen ab, sobald entweder zufällige Störungen oder die früher oder später unausweichliche Abnutzung der Organe, deren Functionen für die Fortdauer der Lebensthätigkeit unentbehrlich sind, dieser ein Ende machen. Mit dem Tode verfällt der Rest vollständig dem nun nicht mehr durch den Lebensprozeß geregelten Einflusse der Atmosphäre. Gährung, Fäulniß und Verwesung bemächtigen sich der abgestorbenen Körper, und nach kurzer Zeit sind die Elemente, aus denen dieselben zusammengesetzt waren, in ihren einfachsten Verbindungen wieder der Luft und Erde zurückgegeben, um in längerer oder kürzerer Frist sich neuerdings zu organischen Stoffen zu vereinigen und im steten Kreislauf an der Entwickelung unabsehbarer Generationen von Pflanzen- und Thierorganismen Theil zu nehmen.

Inhaltsverzeichniß des ersten Bandes.

Druck von G. D. Bädeker in Essen.